

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS

Departamento de Paleontología



TESIS DOCTORAL

**Análisis paleoambiental y paleoclimático de los yacimientos de
Somosaguas y Húmera (Mioceno Medio, Madrid): sedimentología,
petrología, mineralogía y aplicación a divulgación e innovación
educativa**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Omid Fesharaki

Directores

Manuel Hernández Fernández

José Arribas Mocoroa

Madrid, 2016



Departamento de Paleontología
Facultad de Ciencias Geológicas
Universidad Complutense de Madrid



Análisis Paleoambiental y Paleoclimático de los Yacimientos de Somosaguas
y Húmera (Mioceno Medio, Madrid): Sedimentología, Petrología,
Mineralogía y Aplicación a Divulgación e Innovación Educativa

Memoria para optar al Grado de Doctor
presentada por

Omid Fesharaki Tabatabaei



Departamento de Paleontología
Facultad de Ciencias Geológicas
Universidad Complutense de Madrid



Análisis Paleoambiental y Paleoclimático de los Yacimientos de Somosaguas
y Húmera (Mioceno Medio, Madrid): Sedimentología, Petrología,
Mineralogía y Aplicación a Divulgación e Innovación Educativa

Memoria de la Tesis Doctoral Presentada por
OMID FESHARAKI TABATABAEI

Bajo la dirección de Manuel Hernández Fernández y José Arribas Mocoroa

VºBº JOSÉ ARRIBAS MOCOROA

VºBº MANUEL HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

OMID FESHARAKI TABATABAEI

بِه نام خدا

A mis padres
A mi familia

“Solo queda la esperanza, la esperaré hasta que salga el sol”
Las Mil y Una Noches

Esta Tesis y algunos de los trabajos que han sido publicados como parte de las investigaciones del periodo de doctorado han sido parcialmente financiados por los proyectos: CAM-910386, CGL2005-03900/BTE, CGL2006-01773/BTE, CGL2006-04646/BTE, CGL2008-05813-C02-01/BTE, CGL2008 01648, CGL2009/09000, CGL2010-19116/BOS, CGL2011-25754, CGL2011-22709, PR1/06-14470-B, UCM-BSCH GR58/08-910607, AE00-0256-DIF, 781704C1, CCT004-05-00463, CCT006-06-00100.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a los profesores que me han dirigido a lo largo del doctorado y durante la realización de la Tesis Doctoral. Sus conocimientos y ganas de enseñar han sido fundamentales a la hora de llevar a cabo esta Tesis. A Marisa García Romero por introducirme en el mundo de la investigación; a Nieves López Martínez por la pasión por la ciencia y la divulgación de ésta que me inculcó; a José Arribas Mocoroa por aceptar dirigirme la Tesis, tras fallecer prematuramente Nieves, y por adaptarse a mis ritmos de trabajo y lo variopinto de mis investigaciones, siempre con buena predisposición, dándome muy buenos consejos en el difícil mundo de las publicaciones internacionales y enseñándome cada día algo nuevo; y a Manuel Hernández Fernández, con quién he compartido momentos de duro trabajo y otros de disfrute en torno a las actividades que llevamos a cabo en relación con el Proyecto Somosaguas de Paleontología y el Equipo de Introducción a la Investigación GeoPaleoBiológica en Somosaguas (EIIGPBS).

Quiero hacer extensivo mi agradecimiento a todos los demás profesores y técnicos de la facultad que me han ayudado a lo largo de la carrera y de esta Tesis tan multidisciplinar, resolviendo todo tipo de cuestiones, desde las administrativas, informáticas o relativas a la preparación de muestras hasta las estrictamente científicas e incluso las relacionadas con temas personales (María Ángeles Álvarez Sierra, Graciela Sarmiento, Concha Herrero, Soledad Ureta, Alejandra García Frank, Laura González Acebrón, Sol López Andrés, Nieves Meléndez Hevia, Juan de Dios Centeno, Juan Ignacio Santisteban, María José Huertas, Rafael Fort, Rafaela Marfil, José Ramón Mas, Cristóbal Viedma, Mercedes Doval, Lorena Ortega, Elena Vindel, Lourdes Fernández, Carmen Arias, José Pedro Calvo, Javier Luque, Carlos Pina, José Manuel Astilleros, José Fernández Barrenechea, Gemma Martínez, Otto Kalin, José Ángel López, Victoria López-Acevedo, Ana Alonso-Zarza, Juan Luis Martín-Vivaldi, María Eugenia Arribas, Sergio Rodríguez, Margarita Díaz, Esther Sanz, Eumenio Ancochea, M^a Josefa Herrero, Rut Sánchez, Xabier Arroyo, Isabel Díaz, Belén Soutullo, José Luís Fermosel, Carmen Valdehita, Marian Barajas, Pedro Lozano y un largo etcétera). También a todos aquellos con los que he colaborado en las clases de alguna asignatura, porque siempre he aprendido algo nuevo para mejorar las explicaciones que se les da a los alumnos y cómo planificar unas prácticas o una salida de campo (Soledad Ureta, María Ángeles Álvarez Sierra, Alejandra García Frank, Manuel Hernández Fernández, Emilia García Romero, Manuel Regueiro, Fernando García Joral, Sergio Rodríguez, Carmen Arias, Diego García Bellido, Paloma Sevilla, y Patricio Domínguez). A Concepción Justel y Rosario Palomo por su simpatía y cercanía, y por facilitarnos los quehaceres diarios en los Departamentos de Mineralogía y Paleontología, respectivamente.

Agradecer a los doctores Necip Güven, Georges Christidis, Salvatore Critelli, Abhijit Basu, Ana Alonso-Zarza, Cristóbal Viedma, Elena Moreno González de Eiris, Graciela Sarmiento, Pedro Alfaro, Carlos Martínez Pérez, David Fernández Remolar, Manuel Martínez Parra, Laura Domingo, Juan López Cantalapiedra, Andrés Santos Cubedo y Beatriz Azanza sus revisiones de las diferentes publicaciones nacionales e internacionales que se han realizado como parte de los trabajos de esta Tesis. De forma muy especial a la Dra. Alejandra García Frank, quién no solo ha revisado varios trabajos enviados a revistas sino que también ha dedicado mucho tiempo en revisar el capítulo 8 de la presente Tesis Doctoral, y a las Dra. Emilia Le Pera y Laura Domingo por su

rapidez en la evaluación externa y sus comentarios constructivos sobre la versión preliminar de esta Tesis.

Quiero agradecer a Sol López Andrés, Elena Moreno González de Eiris y Agustín Pieren Pidal, por haberme dado la oportunidad de colaborar con el Decanato de la Facultad y por enseñarme a solucionar todo tipo de problemas en la organización y gestión de las asesorías académicas personalizadas, la revisión y pre-edición de los libros de Planes de Estudios, la puesta en marcha de los Master Oficiales de la Facultad y la celebración del 50 Aniversario de la Licenciatura en Ciencias Geológicas, respectivamente. No me quiero olvidar de los trabajadores de la secretaría (Ana, Lidia y Rafa) y Decanato (Nicasio) por sus consejos y la cercanía mostrada durante mis colaboraciones en las Unidades de Información para la matriculación y durante la preparación del libro anuario de los alumnos de las 50 primeras promociones de Ciencias Geológicas de la UCM. De forma especial agradezco a José Manuel Astilleros y a Lidia Bartolomé su buena predisposición ante la avalancha de preguntas y problemas que surgen a la hora de hacer las gestiones finales de la Tesis.

A mis compañeros y amigos doctores, doctorandos y “masterandos”, con los que he compartido muchos congresos, muchas sobremesas, conversaciones científicas y las que no lo eran tanto, tantas risas, tantas ilusiones, tantos momentos de estrés y los buenos momentos que espero que vengan en el futuro (Blanca García Yelo, Ana Gómez Cano, Roselis Salazar, Nuria Sánchez Pastor, Rubén Piña, Elena Crespo, Ricardo Lara, Mina Benjouali, Juan Cárdaba, Paloma López Guerrero, Jonathan Pelegrín, Ismael Coronado, Virginia Sánchez, Laura Domingo, Sole Domingo, Francisco Gascó, David Orejana, Paula Medina, Gema Alcalde, Carlos Pérez, Iván Blanco, Verónica Hernández-Ballarín, Juan López Cantalapiedra, Oscar Sanisidro, Angélica Torices, Antonio Prado, Rafael López, Francisco Coruña, Adriana Oliver, Alberto Valenciano, Daniel Hontecillas, Enrique Cantero, Susana Fraile, David Domínguez, Laura Razola, Javier Carmona, Israel García Paredes, Daniel Peyrot, Ester Rodríguez, Álvaro Martín, Ángela Fraguas, Belén Galán, Adán Pérez, María Ríos, Juncal Cruz, Xabier Arroyo, Ricardo Paredes, Sara Gamboa, Arvidas Castillo, Juan Alberto Pérez, Jorge Alonso, Patricia Canales, Omar Recabarren, Pilar Navajo, Álvaro López, Marc Furió, Oscar Cambra, Hugo Martín, y el resto de Ejiper@s).

A mis compañeros de antes y de ahora de los proyectos Somosaguas, Geodivulgar, Geosfera y la Asociación Ciencia sin Barreras, por tener las mismas ganas que yo de divulgar la Geología e intentar poner nuestro granito de arena en la difícil labor de llevar la Geología a todo tipo de colectivos, y en especial a aquellos más olvidados y que tienen unas necesidades educativas especiales (María Presumido, Juan Cárdaba, Genaro Ferrer, Alejandra García Frank, Angélica Torices, Graciela Sarmiento, María Belén Muñoz, Marisa Canales Fernández, Miguel Gómez Heras, Laura González Acebrón, Nuria Iglesias, Tania Navalpotro, Rocío Rico, Ana Rodrigo, Gabriel Castilla, Davinia Díez, Javier Élez, Jaime Cuevas, Nohemí Sala, etc.). Como no podía ser de otra forma también agradecer a los alumnos y educadores de los centros María Corredentora y San Pedro Apóstol su entusiasmo cada vez que realizamos alguna actividad, lo que sin duda aumenta nuestras ganas de seguir con las labores de divulgación que realizamos desde estos proyectos. Ha sido todo un reto el trabajo con personas con sordoceguera y quiero agradecer a los guías-intérprete y a Javi, José Luis, Eva y Salva su interés y cercanía para ayudarnos a transmitir los conocimientos geológicos durante nuestras actividades. Mención especial a este respecto para Lorena Gonzalo quién de forma

desinteresada nos ofreció varios seminarios sobre esta discapacidad y una iniciación a los diferentes sistemas de comunicación que utilizan las personas con sordoceguera.

A mis colaboradores y amigos del EIIGPBS, con los que he aprendido lo difícil que es dirigir una investigación y coordinar actividades de divulgación y difusión científica, y por esos terceros tiempos tras las excavaciones y las “gomphocenas”, además de aprender a tener aún más paciencia..., siento si he sido muy pesado algunas veces pero al final el esfuerzo ha merecido la pena y casi todos los trabajos y actividades que hemos realizado han sido un éxito (Ángel Carrasco, Anabel Casado, Daniel Romero, Miriam Pérez de los Ríos, Guillermo Benítez, Carlos Alonso, Sara Sacristán, Carlos Pimentel, Sergio Pérez, Julia Recio, Adrián de la Iglesia, Rubén Perales, Laura Chamorro, Amaya Menéndez, Fernando Blanco, Irene Taboada, Jesús Javier Rey, Alejandro Ramiro, Carla Bazán, Juan Torroba, Natalia Tejedor, Laura Gómez, Laura de las Heras, Daniel Alonso, David Martín, Ernaud de Villepreux, Eli Rodríguez, Marta Pina, Germán Cervigón, Humberto Serrano, Lucía de la Ossa, Laura Trigos, Luis Monasterio, Manuel de Pablos, Melani Berrocal, Mar Simonet, Marco Ansón, Pablo Font, Patricia Monterde, Iris Menéndez, Eloy Manzanero, Daniel de la Fuente, Luis Martínez, Daniel Hontecillas, María Mota, Miriam Nistal, Ester Ortega, Marta Pérez, Daniel Casamayor, Esther Rojo, David Guerrero, Raquel Fuertes, Elena Cuesta, Noelia Anaya, Paula Chamorro y Pau Aragonés). También a mis alumnnitos, por su esfuerzo por mejorar cada día, pero también por la guerra que me han dado, obligándome a investigar nuevas metodologías didácticas en la enseñanza de las Ciencias.

A mis amigos de siempre y a los que lo son desde hace poco pero parece que fuese de siempre nuestra amistad (Almu, Ángel, David, Sara, Laura, Ana, Guille, Noe, Jorge, Tania, Carlos, Dani, Alex, Pimen, Clara, Héctor y Zubo).

A Patri, Resi, Cam, Silvia, Santi, Yolanda, Pepa y familia, Isabel, Maribel, Ángel Jarne, amu Said, khaleh Guity y familia, Ana, Bego, Candela, Isi y todos los que cada vez que me ven se interesan por mis avances en las investigaciones y labores científicas.

A mi familia, sin los cuales no estaría presentando esta Tesis Doctoral, ni tal vez me hubiese animado a iniciarla. A mis abuelos/as porque con su ejemplo nos han enseñado el camino del esfuerzo y a vencer cada día las dificultades, además de darnos siempre su cariño; os llevo en el corazón. A todos mis tíos/as y primos/as por su constante interés y apoyo, desde la decena de países por los que estamos desperdigados ¡Gracias Ari por la portada! Por último, pero seguramente los más importantes, a mis padres que han sufrido cada decepción y se han alegrado por cada pasito adelante tanto como yo mismo, y por sentir siempre su cariño y apoyo incondicional.

Espero que este sea el comienzo de una carrera docente e investigadora y no de la “leyenda urbana”...

“En el fondo, los científicos somos gente con suerte: podemos jugar a lo que queremos durante toda la vida”
Lee Smolín

ÍNDICE

Abstract	1
Resumen	7
1. Capítulo 1 - Objetivos e Interés del Estudio	13
2. Capítulo 2 - Antecedentes de la Cuenca de Madrid	21
2.1. Introducción	23
2.2. Génesis y Características Estructurales	23
2.3. Características Estratigráficas y Medios Sedimentarios	26
2.4. Características Petrológicas y Mineralógicas	32
2.4.1. Mineralogía y Alteraciones de las Áreas Fuente	33
2.4.2. Mineralogía de los Sedimentos de la Cuenca	35
2.4.2.1. Mineralogía de las Zonas de Borde de Cuenca	36
2.4.2.2. Mineralogía de las Zonas de Transición	37
2.4.2.3. Mineralogía de las Zonas de Centro de Cuenca	38
2.4.3. Mineralogía de los Suelos de Madrid	42
2.5. Características Paleontológicas	43
2.5.1. Paleontología de Invertebrados y Paleobotánica	43
2.5.2. Paleontología de Vertebrados	45
3. Capítulo 3 - Antecedentes del Área de Somosaguas-Húmera	49
3.1. Introducción	51
3.2. Características de los Yacimientos de Somosaguas	51
3.3. Características del Yacimiento de Húmera	64
4. Capítulo 4 - Descripción Litoestratigráfica	69
4.1. Introducción	71
4.2. Columna de Somosaguas Sur	72
4.3. Columna de Somosaguas Tres	77
4.4. Columna de Somosaguas Cuatro	80
4.5. Columna de Somosaguas Norte	81
4.6. Columna de Somosaguas Seis	83
4.7. Columna de Somosaguas Siete	84
4.8. Columna del sondeo SN-1	84
4.9. Columna del sondeo SN-2	86
4.10. Columna del sondeo SN-3	88
4.11. Columna del sondeo SN-4	91
4.12. Columna del sondeo SN-5	94
4.13. Columna de Húmera-Norte	97
4.14. Columna de Húmera-Oeste	99
4.15. Nuevas Aportaciones en la Interpretación de la Secuencia Sedimentaria	102
5. Capítulo 5 - Análisis Sedimentológico y Textural	105
5.1. Introducción	107
5.2. Metodología	109
5.3. Resultados de las Distribuciones Clastométricas	111
5.3.1. Sedimentos de los Yacimientos de Somosaguas	112
5.3.2. Sedimentos del Yacimiento de Húmera	117
5.4. Resultados Texturales	119
5.4.1. Sedimentos de los Yacimientos de Somosaguas	119
5.4.2. Sedimentos del Yacimiento de Húmera	123
5.5. Discusión y Conclusiones	125

5.5.1. Análisis de la Madurez Textural	125
5.5.2. Inferencia de la Procedencia	127
5.5.3. Inferencia de los Mecanismos de Transporte	128
5.5.4. Inferencia Paleoambiental y de los Medios Sedimentarios	131
5.5.5. Inferencia de las Características Diagenéticas	136
6. Capítulo 6 - Análisis Composicional de la Fracción Arenosa	139
6.1. Introducción	141
6.2. Metodología	143
6.3. Resultados del Análisis Composicional	146
6.3.1. Sedimentos de los Yacimientos de Somosaguas	146
6.3.1.1. Tipos de Granos	146
6.3.1.2. Análisis Modal y Parámetros Petrográficos	153
6.3.2. Sedimentos del Yacimiento de Húmera	155
6.3.2.1. Tipos de Granos	155
6.3.2.2. Análisis Modal y Parámetros Petrográficos	160
6.4. Discusión y Conclusiones	163
6.4.1. Análisis de la Madurez Mineralógica	163
6.4.2. Análisis de la Procedencia	163
6.4.2. Inferencia de las Características Paleoclimáticas	166
7. Capítulo 7 - Análisis de la Mineralogía de Arcillas	169
7.1. Introducción	171
7.1.1. Estructura de los Minerales de la Arcilla	171
7.1.2. Concepto y Tipos de Fábrica en Arcillas	173
7.1.3. Interacción entre Partículas Arcillosas	176
7.1.4. Relación entre Comportamiento de Flujos y Arcillas	177
7.1.5. Clasificación de los Filosilicatos	177
7.2. Metodología	178
7.2.1. Trabajo de Campo	178
7.2.2. Trabajo de Laboratorio	179
7.2.3. Técnicas Microscópicas	183
7.2.3.1. Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)	183
7.2.3.2. Microscopio Electrónico de Transmisión (MET)	184
7.2.3.3. Microsonda Electrónica (ME)	184
7.2.4. Análisis y Clasificación Cristaloquímica	185
7.3- Resultados del Área de Somosaguas	186
7.3.1. Composición Mineralógica de las Muestras	186
7.3.2. Características Microtexturales y Micromorfológicas	189
7.3.3. Características Cristaloquímicas	197
7.4. Resultados del Área de Húmera	203
7.4.1. Composición Mineralógica de las Muestras	203
7.4.2. Características Microtexturales y Micromorfológicas	206
7.4.3. Características Cristaloquímicas	207
7.5. Discusión y Conclusiones	212
7.5.1. Características Genéticas y Evolución Cristaloquímica	212
7.5.2. Inferencia Paleoambiental	221
7.5.3. Inferencia Paleoclimática	222
7.5.4. Inferencia de las Características Diagenéticas	224
8. Capítulo 8 - Divulgación e Innovación Educativa	225
8.1. Introducción	227
8.2. La Geología en el Sistema Educativo Español	227
8.3. Propuestas en torno a la Didáctica y la Innovación Educativa en Geología	231
8.3.1. Valoración de la Geología por Estudiantes de Secundaria	237

8.3.2. Líneas de Trabajo Planteadas	239
8.3.2.1. Propuesta de Temas “Puente”	239
8.3.2.2. Factores que Influyen en el Conocimiento de la Geología y Propuestas Didácticas	245
8.3.2.3. Evaluación de Conocimientos de Geología en el Grado en Geología de la UCM y Propuestas Motivadoras	248
8.4. Propuestas en torno a la Divulgación	252
8.4.1. Divulgación para Público General	256
8.4.2. Divulgación a Público con Necesidades Educativas Especiales	261
8.5. A Modo de Síntesis y Reflexiones Finales	272
9. Capítulo 9 - Síntesis General y Conclusiones	275
9.1. Clasificación Composicional y Madurez Textural y Mineralógica	277
9.2. Génesis y Evolución de las Paleoalteraciones y Transformaciones Minerales	278
9.3. Características del Área Fuente y la Procedencia	280
9.4. Características del Transporte desde el Área Fuente	280
9.5. Características Paleoambientales y del Medio Sedimentario	281
9.6. Características Paleoclimáticas	282
9.5- Grado de Diagénesis	283
Objetivos de Futuro	285
Referencias Bibliográficas	287
Anexos	339
Anexo I – Datos del Análisis Clastométrico	341
Anexo II – Datos del Análisis Textural	345
Anexo III – Datos de los Análisis Cristaloquímicos de Arcillas	351
Anexo IV – Leyes Educativas y Temario de Geología en Educación Obligatoria	361

Abstract

Title: Paleoenvironmental and Paleoclimatic analysis of the Somosaguas and Húmera sites (Middle Miocene, Madrid): Sedimentology, petrology, mineralogy and application to outreach and educative innovation.

Introduction:

The main purpose of this PhD Thesis is the study of the vertebrate-bearing Miocene deposits of Somosaguas and Húmera (West of Madrid city), which are located in the Cenozoic basin of Madrid. This basin was filled with Tertiary sediments, both Palaeogene and Neogene (mainly Miocene). Sediments at its western margin are relatively homogenous, being difficult their subdivision and the correlation within this area and with other areas of the basin, where Neogene Major Tectosedimentary Units have been defined. For this reason, only a very detailed characterization of the mineralogy, petrology and sedimentology of different zones on the western part of the Madrid Basin can allow future reliable stratigraphic correlations. Many paleontological sites have been found in the urban areas of Madrid Community and their surroundings providing valuable information, not only in terms of dating and biostratigraphy but also in relation to paleoenvironmental and paleoclimatic characteristics of this particular time period, especially for the Miocene.

The importance of these two paleontological sites is manifold: (1) they are the first sites found in this area of the Madrid sedimentary basin; (2) they contain very abundant fossil remains; (3) relatively few fossil sites are formed on alluvial fans; (4) they contain both macro- and micromammalian fossil remains, allowing a good characterization of the whole community of mammals; (5) they are dated from 14 Ma, coinciding with the configuration of the Antarctic ice cap and a period of global cooling; (6) they have different taphonomic conservation grades, and (7) are easily accessible and have a large extension. Furthermore, due to its characteristics, the site of Somosaguas allows initiation of Geology and Biology students in the study of paleontological and geological heritage. The Somosaguas Paleontology Project, which is managed by students, started with field activities for undergraduate students in Natural Sciences and today is a multidisciplinary project open to students from many university degrees. This project develops numerous outreach activities in Geology and Paleontology with special emphasis to what we call Social Paleontology. It has also a strong commitment to educational innovation in both non-formal and formal university education, with the establishment of an introduction to investigation group (EIIGPBS) in order to prepare young researchers in different fields of Geology, Biology, Paleontology and Education. Despite its proximity these two sites have some sedimentological, petrological, mineralogical and taphonomic differences, which should be studied for better understanding of the geology and paleontology of the area.

Objectives:

Previous studies have detected in this area and in the whole Madrid Basin, a period of cooling and increasing aridity that match the overall data collected for the period after Miocene Climatic Optimum. This allows analyzing, in this region, the utility of other paleoclimatic indicators, mainly from the perspective of sedimentology, petrology and mineralogy.

The main objective of this PhD Thesis has been the inference of the paleoweathering, paleoenvironmental and paleoclimatic characteristics registered in the region during the Middle Aragonian. This has been done by means of sedimentological, petrological and mineralogical analyses of sediments from the Somosaguas and Húmera fossil sites. As an additional aim, we want to determine the local provenance areas and potential diagenetic processes that affected these sedimentary deposits. Moreover, we believe that the research developed during every PhD Thesis must be returned to the supporting society, in the form of scientific culture open to all citizens. This social dimension of the work of geology researchers is the reason that leads us to include a chapter that incorporates part of the studies, outreach and educational innovation that have taken place in the course of conducting this project.

Synthesis of the Results:

Chapters 2 and 3 show a detailed selection of the background information on the geology of the Madrid Basin and deposits of Somosaguas and Húmera respectively. Although many researches have been carried out in this sedimentary basin, this thesis is the first work that investigates the sedimentological, petrological and mineralogical features of the Somosaguas and Húmera areas with special interest in their paleoenvironmental and paleoclimatic conditions.

The lithostratigraphy of the two sites is detailed in chapter 4 with a total of 13 stratigraphic sections from both outcrops and exploration wells, which describe the characteristics of each of the levels that are differentiated and have been sampled for their multidisciplinary study. The sedimentary sequence studied here has been divided into a total of 12 different stratigraphic units which are formed by little cemented siliciclastic materials (mainly shales and sands, and lesser quantities of gravels) both matrix-supported and clast-supported. Laminar carbonates, no more than 7-8 cm thick, are also observed, both concordant with stratification as well as oblique or perpendicular to it. A peculiarity of Húmera sediments is the presence of small whitish mottling caused by differential carbonate cementation, which it is not observed in Somosaguas.

Chapter 5 develops data from textural analyses carried out in the two sites under consideration. Different morphologies of histograms and grain-size distribution curves have been obtained from grain-size analyses, which are indicative of different transport mechanisms and sedimentary environments. It is mainly recognized a saltation transport mechanism, usually accompanied by a suspension population, and occasionally a traction mechanism. In relation to sedimentary environments, distal areas of alluvial fans, small delta lobes, levees and lacustrine areas are inferred. The Somosaguas and Húmera sediments are classified as clayey sands or sandy shales with a small percentage of gravels, in terms of textural classification. It can be observed that these sediments have a very low textural maturity, so there can be classified as immature or submature. The most influential factors in this classification are the very high amount of clay matrix in the samples studied and the poor grain-size selection of most levels sampled. Processes of mechanical infiltration and bioinfiltration of fine materials into the pores of the sediments may have affected both factors, at least in part. These processes would have occurred in consecutive phases of transport and deposition from much higher areas than the deposits studied. This possibility is enhanced by the frequent presence of bimodal grain-size distributions. The textural study indicates a granite-gneissic mixed origin and clearly internal differences in several stratigraphic units,

which may be interpreted as amalgamated multi-episodic deposits. Data comparison of the micaceous sands of Somosaguas deposits with those defined in other areas of the basin of Madrid indicates the specificity of these lithologies and the processes that form them (sheet floods or deltaic sequences in flooded areas). The sequence studied can be related with the so-called "Majadahonda shaly corridor", which is characterized by fan deposits in mixed sandy/muddy plains, due to its grain-size characteristics.

In order to define the relationships between the different components of the sediment (skeleton, matrix, cement and pores) and to infer post-sedimentary (diagenetic) processes, we used textural data obtained from the study of thin films (roundness, selection, types of matrix and cements, types of grain to grain contacts, etc.). The presence of strong feldspars dissolution and epimatrix (illite replacing feldspar), clay coatings and carbonate cements formation are clear indicators of diagenetic processes. However, the coexistence of fresh grains with other very altered or the small lateral extension of calcite cements indicates that diagenesis was incipient. The study of the degree of alteration of plagioclase grains as paleoclimate proxy has shown an increase of aridity between T1 and T3 units (outcropping in the area of Somosaguas excavations), inferred by the better preservation of these grains through the top of the sequence. Finally, the observation, in all units, of quartz grains with corrosion embayments indicates the existence of pedological processes in geomorphologically higher areas of the basin.

Chapter 6 includes the compositional studies carried out in both, the light and the dense fractions of the sediments of Somosaguas and Húmera. The primary minerals are quartz and feldspar with significant quantities of phaneritic rock fragments and much smaller labile rock fragments. Dense minerals present in the samples studied are mainly tourmaline and apatite (without considering abundant black micas); although important concentrations of zircon, epidote, garnet, sillimanite and andalusite are present in some samples. The samples studied are classified as arkose because of the large proportion of feldspars that contain; however abundant clay matrix (in most cases more than 15%) improves the classification as clayey arkoses or arkosic wackes. The sediments studied, when represented in provenance diagrams, indicate mix origin from granitic-gneissic source areas with a lesser contribution of low-grade metamorphic rocks in an "uplifted basement" geotectonic setting. The application of petrographic results allows us to infer a paleoclimatic tendency trough increasing aridity. The association, at the same levels, of idiomorphic minerals with other allotriomorphic, as well as the varying degrees of taphonomic alteration of paleontological remains, indicate that the sediments of the study area were formed by successive processes of reworking of previous deposits, which is also supported by the observation of rounded carbonate chips and rip-up clasts.

Chapter 7 contains the results of the studies related to clay minerals. Compositions, microtextures and crystallinity have been studied. The bulk mineralogical study shows that Somosaguas samples experience a slight increase of phyllosilicates and feldspars, and the resulting reduction in the proportion of quartz, from base to top of the sedimentary succession. The main clay minerals in this deposit are smectites, followed by illite and small amounts of kaolinite. It's clear that the smectite proportion increases with decreasing the size of the particles analyzed, forming more than 95% of the fraction lesser than 0.5 microns in some samples. Although less evident, a slight decrease of the smectite and little increase of illite towards the top of the sequence can be observed. The XRD patterns show reflection positions and "shoulders" of reflections

indicative of the presence of illite/smectite mixed-layer minerals. Chemical compositions of the illites show very variable laminar charges, sometimes with values typical of vermiculites, although no vermiculite reflections having been registered in the XRD patterns. Smectites also have a wide variety of compositional types divided into two groups, montmorillonites and beidellitas, with some intermediate phases between these and trioctahedral smectites, which could indicate different types of interstratifications. Most of the calcium-montmorillonites are deposited in the Somosaguas site, while Húmera have varying compositions with some smectites very rich in sodium (sodium-montmorillonites). Trioctahedral mica crystals with varying compositions were observed. In some cases thicker mica particles show a di-trioctahedral illite composition at their edges (Electron Microprobe observations), while thinner ones (Transmission Electron Microscope observations) show illite composition in some parts of the crystals and beidellite compositions in others. These compositional transformations linked with micromorphology aspects allow us to describe a transformation trend from trioctahedral micas to iron rich beidellites and finally to beidellites with normal ranges of iron and titanium. Their great chemical variability and the presence of low and high charge beidellites are typical characteristics of sediments that have exposed to the action of pedological processes, supporting the inference of soil formation processes in higher areas. On the other hand montmorillonites with delicate morphologies are related to neoformation processes, forming part of the diagenetic matrices observed. Finally calcifications due to the action of bacteria were observed, confirming the biogenic action as one of the causes of some of the features of these sites. The crystallinity indices of illite and smectite and the proportion of mixed-layer minerals observed indicate very early stages of diagenesis.

Chapter 8 includes various outreach and educational proposals in the field of geology. Four main lines of research are explained: (1) proposal of “connecting” topics between Geology and Biology to take advantage of the better perception of students about this second matter to introduce geological concepts; (2) evaluation of the influence of various factors (formal and non-formal education, museums and non-permanent exhibitions, cinema, media, etc.) in the geological knowledge of the students and the proposal of activities that allow them to discern between true and manipulated information received from some media; (3) proposal of some activities to assess the geological knowledge and simultaneously motivate, students in university education, to learn about various geological subjects, encouraging self-evaluation and self-training as complementary to the training received officially in universities; (4) outreach proposals adapting content and education materials for all audiences, with particular attention to those with special educational needs. All these works have had a very innovative and dynamic character as they have been integrated into the works done by the EIIGPBS collaborating students. PhD students have had to propose and direct different projects to be done by the aforementioned collaborators. In this way they learn to plan and coordinate researches and to review papers prepared for publication or presentation at scientific meetings by undergraduate students.

Conclusions:

- An environment of distal alluvial fans connected to marsh or mud flat, close to lacustrine areas, with more or less permanent water bodies, is inferred.

- The rate of sedimentation and the transport energy had to be relatively high, with alternating periods of lower activity making possible the development of soil, laminar carbonates and the establishment of lacustrine areas.

- The weather would be seasonal, with two contrasted seasons, one dry and long and the other wet and short with heavy rainfall processes similar to those that occur today in environments such as tropical savannas. However, from base to top of the sequence studied, variations are observed indicating increase in aridity and perhaps a fall in temperature. These data are fully consistent with the trends described in previous works by paleontological and isotopic analysis.

- A sequence of paleoweathering processes took place in the emerging soils developed between the source area and the area of study. Features like feldspars dissolution, quartz embayment's, transformation trends observed between micas and smectites and the presence of calcifications due to bacteria activity are indicative of these developing soils.

- Various sedimentological, compositional and micro-textural proxies and crystallinity of the clay phases indicate that the study area has been subjected to an incipient diagenesis, slightly more advanced in the Húmera site than in Somosaguas.

- The area of origin of the sediments that form the deposits studied had a mixed granites and gneisses lithology, with minor contribution from low-grade metamorphic rocks. These eroded materials were transported to the sedimentary basin through multiple pulses that have generated the reworking of these sediments.

- Despite being a key science for the understanding of our Planet and even our exceptional existence, geology is a relatively unfamiliar science to the society. However, some of its branches have found various ways to reach the public attention, being important to seize this occasion to provide accurate information, which would serve for teaching Earth Sciences to general public.

- It is possible to create working and research spaces that not only serve in the learning of novice students, but also provide a practical training for PhD candidates, who are the future university teachers and researchers. In this way the acquired knowledge would be reinvested directly in the society as an accessible scientific culture adaptable to any level of expertise.

Resumen

Introducción:

Los yacimientos de fósiles de vertebrados miocenos de Somosaguas y Húmera, objeto de estudio de esta Tesis Doctoral, están situadas en la cuenca cenozoica de Madrid. Esta cuenca presenta en superficie amplias extensiones de materiales sedimentarios neógenos, principalmente de edad miocena, que en su margen oeste son de una gran homogeneidad, siendo compleja su subdivisión y correlación con otras zonas de la cuenca mejor caracterizadas. Además, a pesar de guardar similitudes con otras áreas de la cuenca, de edades similares, al tener áreas fuente muy diversas (granitoides y gneisses al Oeste y Sur, rocas metamórficas de bajo grado al Norte y sedimentarias al Este) presenta particularidades diferenciales respecto a las demás zonas. Los yacimientos paleontológicos que se han encontrado en el área urbana de Madrid y en sus alrededores proporcionan una información muy valiosa, no solo en cuanto a la datación y la bioestratigrafía sino también en relación con las condiciones paleoambientales y paleoclimáticas.

El interés de estos dos yacimientos es múltiple: (1) son los primeros encontrados en este área de Madrid y están entre los más occidentales de esta cuenca sedimentaria; (2) albergan una gran abundancia de restos fósiles; (3) son relativamente escasos los yacimientos formados en abanicos aluviales; (4) coinciden yacimientos con restos de macro y micromamíferos, posibilitando una buena caracterización del conjunto de la comunidad de mamíferos; (5) son de los pocos yacimientos de mamíferos de edad 14 m.a., coincidentes con el restablecimiento de la capa de hielo de la Antártida y un periodo de enfriamiento global; (6) presentan diversas modalidades de conservación de los fósiles en ambientes de sedimentación peculiares, y (7) son de muy fácil acceso y tienen una gran extensión. Además, por sus características el yacimiento de Somosaguas permite la iniciación de estudiantes de Geología y Biología en el estudio del Patrimonio paleontológico y geológico. El proyecto que lo gestiona (Proyecto Somosaguas de Paleontología) lleva aparejado una importante labor de divulgación e innovación educativa que se materializa principalmente en el Equipo de Introducción a la Investigación GeoPaleoBiológico de Somosaguas (EIIGPBS). A pesar de su cercanía estos dos yacimientos presentan algunas diferencias sedimentológicas, petrológicas, mineralógicas y tafonómicas que deben ser estudiadas para un mejor entendimiento de la geología y paleontología de la zona.

Objetivos:

Trabajos previos han detectado en este área y en general para la cuenca de Madrid, un periodo de enfriamiento y aumento de la aridez que coinciden con los datos recogidos globalmente para el periodo posterior al Óptimo Climático del Mioceno. Este hecho permite analizar, en esta región, la bondad de otros indicadores paleoclimáticos desde la perspectiva de la sedimentología, la petrología y la mineralogía, principalmente.

El objetivo principal de la presente memoria de Tesis Doctoral ha sido la inferencia, a partir del análisis sedimentológico, petrológico, mineralógico y cristalquímico de los sedimentos que contienen los fósiles de los yacimientos de Somosaguas y Húmera, de las paleoalteraciones, los paleoambientes y los paleoclimas registrados en la región durante el Aragoniense medio (hace aproximadamente 14 m.a.), así como la

confirmación de las áreas de procedencia local del material sedimentario y los posibles procesos diagenéticos que han afectado a estos depósitos sedimentarios. Por otra parte, creemos que los trabajos de investigación desarrollados durante las Tesis Doctorales tienen que servir para revertir a la sociedad los recursos que ha puesto para la formación de sus investigadores en forma de cultura científica accesible a todos los ciudadanos. Esta dimensión social del trabajo de los geólogos es la que nos lleva a incluir un capítulo que recoge parte de los estudios y actividades de divulgación e innovación educativa que se han llevado a cabo en el transcurso de la realización de esta tesis doctoral.

Síntesis de los Resultados:

Los capítulos 2 y 3 recogen una selección detallada de los antecedentes de la cuenca de Madrid y de los yacimientos de Somosaguas y Húmera, respectivamente. Destaca la gran cantidad de investigaciones que se han llevado a cabo en esta cuenca sedimentaria, aunque en el área de estudio los primeros trabajos sedimentológicos, petrológicos y mineralógicos de detalle son los que se recogen en esta memoria de Tesis Doctoral.

En el capítulo 4 se detalla la litoestratigrafía de los dos yacimientos con un total de 13 columnas estratigráficas tanto de afloramientos como de sondeos realizados en la zona, describiendo detalladamente cada uno de los niveles que se han diferenciado y que han sido muestreados para el posterior estudio multidisciplinar. La secuencia estudiada se ha dividido en un total de 12 tramos estratigráficos diferentes que están formados por materiales siliciclásticos poco cementados (principalmente arenas y pelitas, y en menor medida gravas) tanto matriz-soportados como clasto-soportados. También se observan carbonatos laminares, de no más de 7-8 cm de espesor, tanto concordantes con la estratificación como aquellas que rompen oblicua o perpendicularmente ésta. Una particularidad de los sedimentos de Húmera que los diferencia de los del yacimiento de Somosaguas es la presencia de pequeños moteados blanquecinos debidos a cementación carbonática diferencial.

El capítulo 5 desarrolla los datos obtenidos de los análisis texturales realizados en los dos yacimientos objeto de estudio. Del estudio de las clastometrías se han obtenido diferentes morfologías de histogramas y de curvas clastométricas que son indicativas de diferentes mecanismos de transporte y medios sedimentarios. Se reconoce principalmente un mecanismo de transporte mediante saltación acompañada en general de un mecanismo de suspensión y ocasionalmente de un mecanismo de tracción. En cuanto a los medios sedimentarios se infieren zonas distales de abanicos aluviales confluyendo en zonas con posibles encharcamientos (zonas lacustres relativamente perennes pero con poco espesor de lámina de agua), pequeños lóbulos deltaicos y *levees*. La clasificación textural de estos sedimentos permite denominarlos como arenas arcillosas o pelitas arenosas, en muchos casos con un pequeño porcentaje de gravas. Se observa que estos sedimentos presentan un estadio de madurez textural muy bajo clasificándose como inmaduras o submaduras. Uno de los factores que más influye en esta clasificación es la cantidad de matriz arcillosa, que en las muestras estudiadas es muy elevada, así como la mala selección de la mayoría de los niveles muestreados. Ambos factores pueden haber sido afectados, al menos en parte, por procesos de infiltración mecánica y bioinfiltración de materiales finos en los poros de los sedimentos, hecho que habría ocurrido desde zonas mucho más elevadas que las de los depósitos estudiados y en fases consecutivas de transporte y depósito. Esta posibilidad se ve reforzada por la presencia de muchas distribuciones clastométricas bimodales. Las

clastometrías indican una procedencia mixta granítica-gnéisica e indican de forma clara diferencias internas en varios tramos, pudiendo interpretarse como depósitos multiepisódicos amalgamados, que, sin embargo, parecen muy homogéneas en campo. Se aportan datos para comparar las arenas micáceas del yacimiento de Somosaguas con aquellas definidas en otras áreas de la cuenca de Madrid, indicando la especificidad de estas litologías y los procesos (*sheet floods* o secuencias deltaicas en zonas encharcadas) y medios que definen. Se asocia la secuencia estudiada con el denominado “pasillo lutítico de Majadahonda” caracterizado por depósitos de pie de abanico en llanura arenosa mixta y/o llanura fangosa.

En este capítulo se muestran los datos texturales obtenidos del estudio de láminas delgadas (redondez, selección, tipos de matrices y cementos, tipos de contactos entre granos, etc.) con el objetivo de definir las relaciones entre los diferentes componentes de los sedimentos (esqueleto, matriz, cemento y poros) e inferir procesos post-sedimentarios (diagenéticos). La presencia de fuertes disoluciones en feldespatos y la formación de epimatrices (illita sustituyendo feldespatos), así como la formación de cementos de filosilicatos (recubrimientos de arcillas) y de calcita poiquilotópica son claros indicadores de procesos diagenéticos. Sin embargo, la coexistencia entre granos muy alterados y otros poco alterados o la poca extensión lateral de los cementos calcíticos indica que la diagénesis ha sido incipiente. El estudio de los grados de alteración de las plagioclasa como indicador paleoclimático ha revelado un aumento de la aridez entre los tramos T1 y T3 (aflorantes en la zona de excavaciones) del yacimiento de Somosaguas, inferido por la mejor preservación de estos granos hacia techo. Finalmente, la observación, en todos los tramos, de cuarzos con golfos de corrosión permite deducir la existencia de procesos edafológicos en áreas geomorfológicamente más elevadas.

El capítulo 6 recoge los estudios composicionales realizados tanto en la fracción ligera como densa de los sedimentos de estos dos yacimientos. Los minerales principales son cuarzo y feldespato con cantidades importantes de fragmentos de roca granuda y mucho menores de fragmentos de roca lábiles. Los minerales densos presentes en las muestras estudiadas, sin tener en cuenta las abundantes micas negras, son principalmente turmalinas y apatitos, y en menor medida rutilo. Aunque se han obtenido pocos circones su concentración en las fracciones más finas, no estudiadas, puede haber alterado este dato. Finalmente se han obtenido también granates, sillimanita, opacos y cuarzo idiomorfo de color rojo (jacinto de Compostela?). Las muestras estudiadas se clasifican como arcosas por la gran proporción de feldespatos que poseen, sin embargo la abundante matriz de arcillas (en la mayoría de casos más del 15%) permite su clasificación como arcosas arcillosas o *arkosic wackes*. Los sedimentos estudiados al ser representados en diagramas de procedencia indican litologías del área fuente granítico-gnéisicas con un aporte mucho menor de materiales metamórficos de bajo grado. Además permiten corroborar la asignación de esta zona a una situación geotectónica de “basamento elevado”. La aplicación de los resultados petrográficos a análisis paleoclimáticos permite inferir una tendencia al aumento de la aridez en la secuencia estratigráfica estudiada, que es poco clara en los niveles inferiores y muy evidente en los niveles situados hacia techo. La asociación de minerales muy idiomorfos con otros totalmente alotriomorfos en los mismos niveles, así como de restos paleontológicos con muy diversos grados de alteración tafonómica, indica que los sedimentos del área de estudio se han formado por sucesivos procesos de

retrabajamiento de sedimentos previos, algo que se ve apoyado por la observación de chips de carbonatos de bordes redondeados.

El capítulo 7 muestra los estudios realizados en relación con los minerales de la arcilla. Se han estudiado composiciones, microtexturas e índices de cristalinidad. El estudio composicional general muestra que en las muestras de Somosaguas de base a techo de la sucesión sedimentaria hay un ligero aumento de los feldespatos y los filosilicatos y la consiguiente disminución de la proporción de cuarzo. Los principales minerales de la arcilla en este yacimiento son las esmectitas, seguidas de illitas y pequeñas cantidades de caolinita. Se observa claramente que la esmectita aumenta al disminuir el tamaño de la fracción analizada, llegando a formar más del 95% de la fracción menor de 0,5 micras de algunas muestras. En cuanto a la variación de las arcillas en los diferentes niveles es muy poco clara la tendencia, aunque se intuye una leve disminución de las esmectitas y aumento de las illitas hacia techo. Se han obtenido reflexiones y “hombros” de reflexiones indicativos de la presencia de interestratificados Illita/Esmectita. Composicionalmente las illitas tienen cargas muy variables llegando a presentar cargas de vermiculitas, aunque en los Rayos X no se han distinguido reflexiones de vermiculitas. Las esmectitas presentan también una amplia variedad de tipos composicionales dentro de dos grandes grupos, las montmorillonitas y las beidellitas, con algunas fórmulas cristal químicas intermedias entre éstas y fases trioctaédricas, que podrían indicar diferentes tipos de interestratificados. La mayoría de la montmorillonitas son cálcicas en el yacimiento de Somosaguas, mientras que en Húmera presentan composiciones variables con algunos análisis muy ricos en sodio, pudiendo definirse como montmorillonitas sódicas. Se han observado partículas que presentan análisis de micas trioctaédricas (Microsonda Electrónica) en el centro y de illitas di-trioctaédricas en los bordes, y a su vez se han observado partículas (Microscopio electrónico de Transmisión) de composición cercana a la illita que en otras partes del cristal dan fórmulas de beidellitas. Por estas relaciones composicionales y aspectos de la micromorfología se define una línea de alteración desde la mica trioctaédrica hasta la beidellita dioctaédrica rica en hierro y de esta a beidellitas con los rangos normales de hierro y titanio. La gran variabilidad de las beidellitas y la presencia de beidellitas de baja y alta carga son típicas de sedimentos que han expuestos a la acción de los procesos edafológicos, y por lo tanto es un apoyo más para la inferencia de procesos pedogenéticos en áreas más elevadas. Las montmorillonitas por su parte tanto por sus morfologías delicadas como por sus composiciones alejadas de las de las micas tienen un origen neoforado y serían principalmente las fases que formarían las matrices diagenéticas observadas. Finalmente se han observado calcificaciones debidas a la actuación de bacterias, lo que corrobora la acción biogénica como una de las causantes de algunas de las particularidades de estos yacimientos. Los índices de cristalinidad de la illita y la esmectita y la proporción de interestratificados observados indican unos estadios muy incipientes de diagénesis.

El capítulo 8 recoge diversos trabajos y propuestas didácticas en el campo de la geología. Se exponen cuatro líneas principales de investigación: (1) propuesta de temas puente entre la geología y la biología que aprovechen la buena percepción del alumnado de esta segunda materia para introducir conceptos geológicos; (2) evaluación de la influencia de diversos factores (enseñanza formal, enseñanza no formal, museos y exposiciones no permanentes, cine, medios de comunicación, etc.) en los conocimientos geológicos de los alumnos y la propuesta de actividades que permitan al alumno valorar la geología y discernir entre la información veraz que recibe por algunos medios y la

que no lo es; (3) propuesta de algunas actividades para evaluar los conocimientos geológicos y al mismo tiempo motivar, a los alumnos de formación universitaria, a informarse sobre diversos temas geológicos que desconocen, es decir, fomentar la autoevaluación y la autoformación como elementos complementarios a la formación que se presta de forma oficial en las universidades; (4) propuestas de divulgación adaptando contenidos y materiales didácticos para todo tipo de públicos, con especial atención a las personas con necesidades educativas especiales. Todos estos trabajos han tenido una dinámica muy innovadora ya que han estado integradas dentro de los trabajos realizados en el EIIGPBS y por lo tanto el doctorando ha tenido que proponer y dirigir estos trabajos para que fuesen realizados por alumnos colaboradores en este equipo, por lo que no solo ha servido para generar nuevos materiales de divulgación y educativos que puedan mejorar la difusión y la docencia de la geología sino que al mismo tiempo ha servido para que un conjunto de alumnos se inicien en la realización de proyectos de investigación y para que el doctorando aprenda a planificar, coordinar y revisar estos trabajos para su posterior publicación o presentación a congresos.

Conclusiones Principales:

- Se deduce un ambiente de abanico aluvial distal que confluye con zonas palustres o de *mud flat*, que podría tener zonas encharcadas de una forma más o menos permanente aunque con láminas de agua de poco espesor.

- El medio de transporte sería energético en general con intercalación de momentos de menor actividad que permitirían el desarrollo de suelos, formación de carbonatos laminares y el desarrollo de facies “lacustres”.

- El clima sería estacional, con dos estaciones bien marcadas, una seca y muy larga y otra más húmeda y corta con procesos de lluvias torrenciales parecidas a las que se producen en la actualidad en ambientes como las sabanas tropicales. Sin embargo, de base a techo de la secuencia estudiada se observan variaciones que indican un aumento de la aridez y tal vez una bajada de las temperaturas. Estos datos coinciden plenamente con las tendencias obtenidas en trabajos previos mediante estudios paleontológicos e isotópicos.

- Se observa una secuencia de paleoalteraciones, que en parte habrían tenido lugar en los suelos incipientes desarrollados desde el área fuente hasta la zona de estudio, y que muestran la disolución de feldespatos y la corrosión de cuarzos, así como la transformación de las micas en esmectitas a través del paso por illitas y minerales interestratificados.

- Diversos indicadores sedimentológicos, composicionales y microtexturales, así como la cristalinidad de las fases arcillosas, indican que el área de estudio ha estado sometida a una diagénesis incipiente, ligeramente más avanzada en los yacimientos de Húmera que en los de Somosaguas.

- El área de procedencia de los sedimentos que forman los depósitos estudiados tendría una litología mixta de granitos y gneisses con coberteras metamórficas de bajo y medio grado que fueron erosionadas y transportadas hacia la cuenca sedimentaria en múltiples pulsos sedimentarios que han generado un retrabajamiento de estos sedimentos.

- A pesar de ser una ciencia fundamental para la comprensión del medio que nos rodea e incluso nuestra propia existencia la Geología sigue siendo una desconocida para la sociedad. Sin embargo, algunas de sus ramas han encontrado diversos medios para llegar al público y hay que aprovechar esta circunstancia para intentar que la información sea veraz y que sirva como una alfabetización en las Ciencias de la Tierra para los ciudadanos.

- Es posible generar espacios de trabajo e investigación que no solo reviertan en el aprendizaje de los alumnos noveles, sino que sirvan como práctica para la formación de los futuros docentes e investigadores universitarios, y que los conocimientos generados reinviertan directamente en la sociedad en forma de cultura científica de fácil acceso y adaptado a cualquier nivel de conocimientos.

Capítulo 1

Objetivos e Interés del Estudio

“Si tienes un gran sueño debes estar dispuesto a un gran esfuerzo para concretarlo
porque solo lo grande alcanza a lo grande”
Facundo Cabral



El área objeto de estudio de la presente Tesis Doctoral está situada en la cuenca cenozoica del Tajo (aproximadamente en el centro de la Península Ibérica). La Cuenca del Tajo ha sido tradicionalmente dividida para su estudio en tres subcuencas, siendo de mayor a menor extensión, la Cuenca de Madrid, la Cuenca de Loranca y la Cuenca de Campo Arañuelo (Figura 1.1). Esta división no solo se debe a los accidentes geográficos que separan estas subcuencas sino que también se debe a que cada una de ellas presenta una serie de características propias, en parte debidas a los diferentes aportes sedimentarios que reciben de los rebordes montañosos que los rodean. El área de estudio pertenece a la zona Oeste de la Cuenca de Madrid. Esta cuenca sedimentaria presenta en superficie amplias extensiones de materiales neógenos, principalmente de edad miocena, que han sido estudiados durante los últimos 150 años desde multitud de puntos de vista (ver capítulo 2), existiendo aún algunas incógnitas sin resolver, como sus grandes concentraciones de minerales magnésicos y sódicos, o las variaciones climáticas que se registraron en cada momento durante el depósito de los materiales neógenos (García Romero, 2004, Cuevas-González *et al.*, 2005, entre otros). Además, la gran homogeneidad de los materiales sedimentarios que forman la zona Oeste de esta cuenca (Calvo y Pérez González, 2004; López Olmedo *et al.*, 2004) y la escasa información paleontológica que se tenía de ella, hasta hace pocos años (López-Martínez *et al.*, 2000), han hecho que el conocimiento sobre ella sea menor que en otras áreas (Norte, Sur y Este), siendo más compleja su correlación con otras zonas mejor caracterizadas. Además, a pesar de guardar muchas similitudes con otras áreas de la cuenca, de edades similares, al tener áreas fuente muy diversas (granitoides y gneises al Oeste y Sur, rocas metamórficas de bajo grado al Norte y sedimentarias al Este) presenta particularidades diferenciales respecto a las demás zonas.

Desde hace un par de décadas, y en parte debido a la gran cantidad de obras de infraestructuras públicas y privadas y las nuevas normativas de protección de los hallazgos paleontológicos, se han encontrado muchos yacimientos paleontológicos en el área urbana de Madrid y en sus alrededores (Herráez *et al.*, 2000). Estos yacimientos proporcionan una información muy valiosa, no solo en cuanto a la datación y la bioestratigrafía sino también en cuanto a las inferencias paleoambientales y paleoclimáticas que permiten realizar. Hasta la reciente descripción de los yacimientos de Villaviciosa de Odón (Sesé y Jiménez Rodrigo, 2014) los yacimientos de vertebrados miocenos de Húmera y Somosaguas, objeto de esta Tesis, eran los más occidentales de la Cuenca de Madrid (López-Martínez *et al.*, 2000; Cárdena *et al.*, 2013). Estos dos yacimientos están situados entre los municipios de Pozuelo de Alarcón y Húmera, al Oeste de la ciudad de Madrid (Figura 1.2).

Los yacimientos de fósiles de vertebrados de Somosaguas fueron descubiertos por un alumno de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) en 1989. El hallazgo fue comunicado en 1996 al Departamento de Paleontología de esta Facultad y al Departamento de Paleobiología del Museo de Ciencias Naturales. Después de diversos estudios se incluyó la localidad en la carta paleontológica de Madrid (López-Martínez *et al.*, 2000). La primera campaña de excavación se llevó a cabo en 1998 y desde entonces y de forma ininterrumpida se realizan campañas de excavación de 15 días al año. El proyecto encargado de gestionar estos yacimientos, Proyecto Somosaguas de Paleontología, está coordinado por investigadores de la UCM y del Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC). Este proyecto ha sido concebido, iniciado y desarrollado por estudiantes y jóvenes investigadores de Geología y Biología dirigidos desde el inicio de las excavaciones

(1998) y hasta su prematuro fallecimiento en 2010 por la Catedrática de Paleontología de Vertebrados, Nieves López Martínez (López-Martínez *et al.*, 2005; Castilla *et al.*, 2006, Fesharaki *et al.*, 2012). El Proyecto Somosaguas de Paleontología, además de las campañas de excavación, lleva asociado una importante actividad investigadora, de innovación educativa y de divulgación, que esta abierto a todas las especialidades (Benítez-López *et al.*, 2009; Fesharaki *et al.*, 2012).

Tras el descubrimiento y las primeras campañas de excavación, se realizó una primera tanda de trabajos en relación con la estratigrafía, tafonomía y taxonomía de los restos fósiles de este yacimiento. Estas primeras investigaciones fueron publicadas en un volumen “especial” de la extinta revista Coloquios de Paleontología en el año 2000. Posteriormente, hasta el 2007 se realizaron algunos trabajos más, entre los que cabe mencionar los trabajos académicos presentados durante el 2005 y 2006 por varios integrantes del Proyecto Somosaguas de Paleontología. Desde el 2007 los trabajos se han diversificado, internacionalizado y han profundizado en los campos anteriores y en los análisis de mayor detalle de la mineralogía, la geoquímica isotópica o la petrología de este yacimiento, todos ellos con aplicación a análisis paleoecológicos, paleoambientales y paleoclimáticos. Es en este último conjunto de trabajos en los que se encuadra esta Tesis Doctoral. Hasta el momento se han realizado más de 40 trabajos relacionados con el área que contiene los yacimientos de Somosaguas (ver capítulo 3).

El interés de estos yacimientos es múltiple, debido a que: (1) son los primeros encontrados en este área de Madrid (López-Martínez *et al.*, 2000); (2) a la abundancia de los restos fósiles que albergan (Hernández Fernández *et al.*, 2006); (3) a que son relativamente escasos los yacimientos formados en abanicos aluviales (Díez-Canseco *et al.*, 2012); (4) a que coinciden yacimientos con restos de macro y micromamíferos, posibilitando una buena caracterización del conjunto de la comunidad de mamíferos (Perales *et al.*, 2009); (5) a que son yacimientos de mamíferos de edad 14 m.a., coincidentes con el reestablecimiento de la capa de hielo de la Antártida y el enfriamiento global del Mioceno Medio (Zachos *et al.*, 2001; Shevenell *et al.*, 2004; Pina *et al.*, 2008); (6) a las diversas modalidades de conservación de los fósiles en estos ambientes de sedimentación tan peculiares (Polonio y López-Martínez, 2000), y (7) a la facilidad de acceso y su gran extensión, confirmada en varias campañas mediante catas productivas (Castilla *et al.*, 2006; Díez-Canseco, 2011).

Además, el yacimiento de Somosaguas permite su aprovechamiento para la iniciación de estudiantes de Geología y Biología en el estudio del Patrimonio paleontológico y geológico y sirve de medio de difusión de estas ramas de las Ciencias Naturales, ya que todos los años es visitado por universitarios de diversas universidades y carreras de España, así como por colegios y diversas organizaciones educativas y medios de comunicación escrita y audiovisual (Benítez-López *et al.*, 2009; Fesharaki *et al.*, 2012). En este sentido, una de las ramas más destacables dentro del Proyecto Somosaguas es el Equipo de Introducción a la Investigación GeoPaleoBiológica en Somosaguas (EIIGPBS; Benítez-López *et al.*, 2009). Este Equipo ha supuesto un importante aumento desde 2008 del número de trabajos de investigación llevados a cabo por los miembros del Proyecto tanto en el campo de la Geología-Paleontología como en el de la Paleontología social, la divulgación y la innovación educativa, además de posibilitar la formación de nuevos monitores para las campañas de excavación (Torices *et al.*, 2004; Fesharaki *et al.*, 2012).

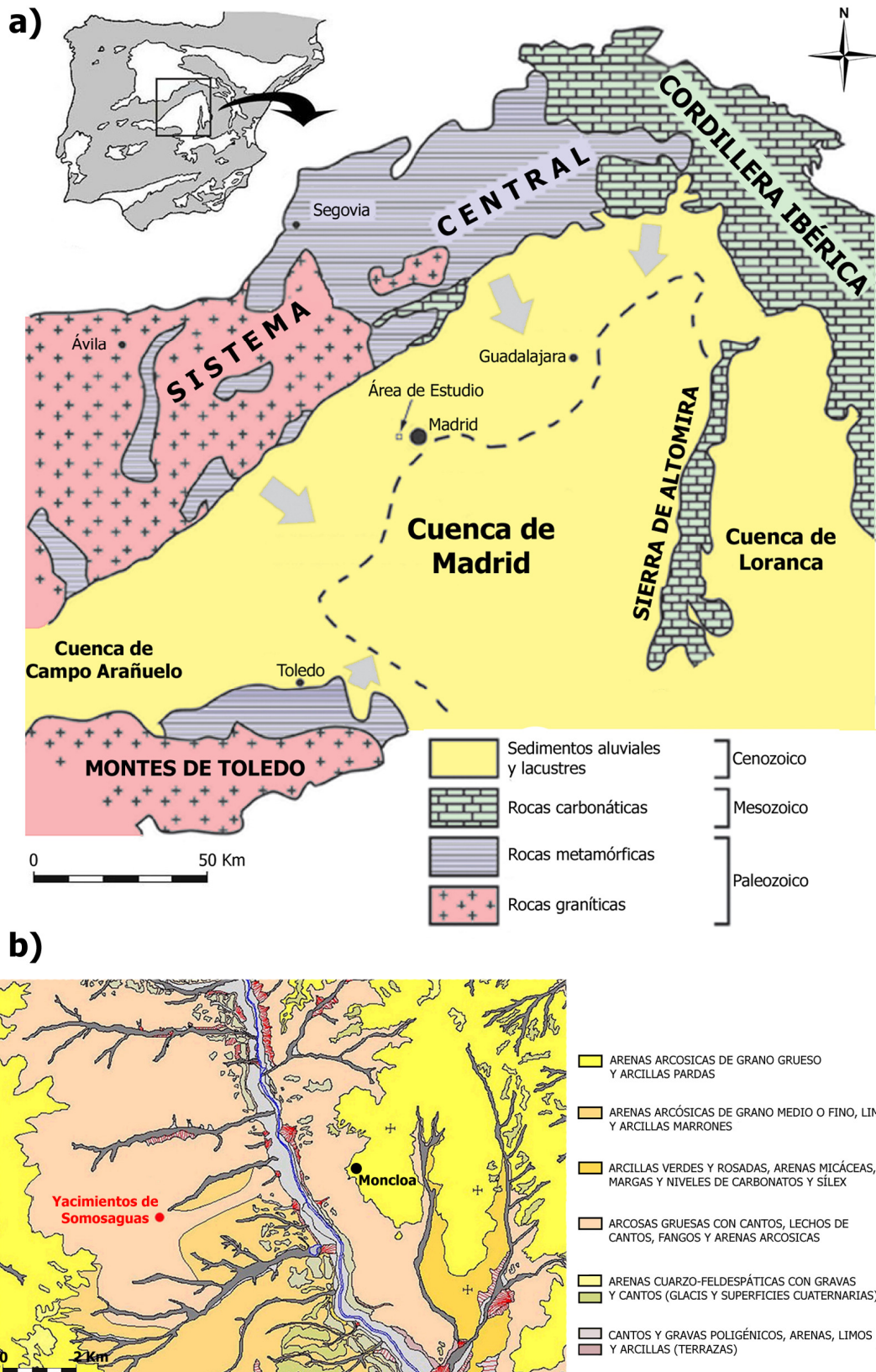


Figura 1.1- Mapas de situación geológica del área de estudio: a) cuencas cenozoicas de la Península Ibérica y detalle de la Cuenca del Tago, con sus rebordes montañosos y las tres subcuencas en que se divide (Modificado de Calvo *et al.*, 1989b); b) mapa de litologías en las áreas cercanas a la zona de estudio (modificado de Calvo y Pérez González, 2004; Cuevas-González, 2005a; Fesharaki, 2005).

En cuanto al yacimiento de Húmera, hasta el momento, ha sido bastante menos estudiado que el de Somosaguas. Se descubrió por parte de dos investigadores del Proyecto Somosaguas de Paleontología en Abril del año 2008, al encontrarse restos de fósiles de vertebrados en un talud al Este de la glorieta de intersección entre la avenida de Húmera y la carretera de Húmera, que había aflorado debido a las obras de acondicionamiento de dicha carretera (M-508). El descubrimiento fue puesto en conocimiento del Museo Nacional de Ciencias Naturales y de la Dirección General de Patrimonio Histórico de la Comunidad de Madrid. Hasta el momento se ha realizado un estudio estratigráfico-paleontológico preliminar de este yacimiento (Menéndez Gamella *et al.*, 2010), y recientemente se ha llevado a cabo un estudio más detallado de la sistemática y la bioestratigrafía del mismo (Cárdaba *et al.*, 2013). A pesar de estar menos estudiado presenta algunos rasgos de gran interés. Por una parte, al ser aproximadamente de la misma edad que los yacimientos de Somosaguas permite su comparación y estudio conjunto. Por otra parte, a pesar de su cercanía con Somosaguas, presenta algunas diferencias composicionales y tafonómicas (Menéndez Gamella *et al.*, 2010) que deben ser estudiadas para un mejor entendimiento de la geología y paleontología de la zona. Finalmente, también en este yacimiento se han obtenido abundantes restos de fósiles, principalmente de micromamíferos (Cárdaba *et al.*, 2013), lo que permite trabajos de datación e inferencia ambiental basados en las asociaciones de esta fauna.

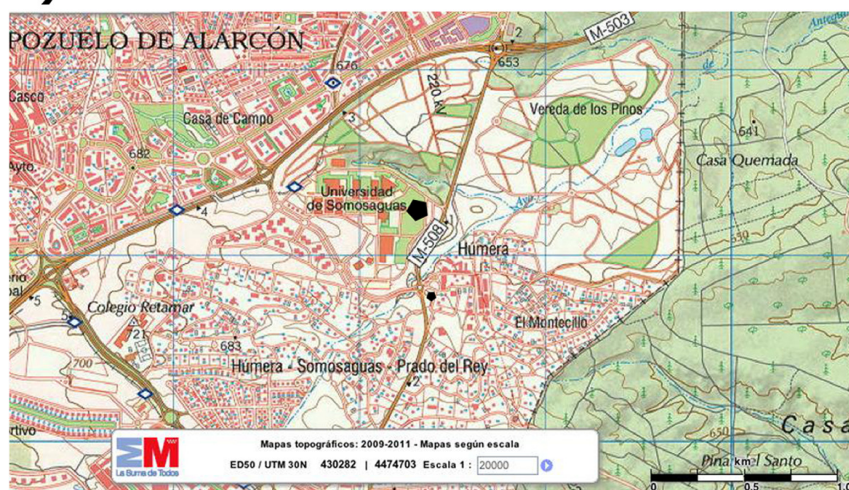
Trabajos previos han detectado en este área (Hernández Fernández *et al.*, 2006; Carrasco *et al.*, 2008; Domingo *et al.*, 2009; entre otros) y en general para la Cuenca de Madrid (Domingo *et al.*, 2012a), un periodo de enfriamiento y aumento de la aridez que coinciden con los datos recogidos globalmente para el periodo posterior al Óptimo Climático del Mioceno (Zachos *et al.*, 2001; Böhme, 2003). Este hecho permite analizar, en esta región, la bondad de otros indicadores paleoclimáticos desde la perspectiva de la sedimentología, la petrología y la mineralogía, principalmente.

El objetivo principal del presente trabajo de Tesis Doctoral ha sido la inferencia, a partir del análisis sedimentológico, petrológico, mineralógico y cristalquímico del área de Somosaguas-Húmera, de las paleoalteraciones, los paleoambientes y los paleoclimas registrados en la zona durante el Aragoniense medio (hace aproximadamente 14 m.a.), así como la confirmación de las áreas de procedencia local de los sedimentos. Para ello se han utilizado metodologías clásicas de análisis sedimentológico, petrológico y mineralógico: microscopía óptica de luz transmitida (MOLT), difracción de rayos X (DRX) de muestra total y de la fracción arcillosa, microscopía electrónica de barrido (MEB), microscopía electrónica de transmisión (MET), microsonda electrónica (ME), granulometrías, etc. Se han analizado todas las fracciones de los sedimentos siliciclásticos (arcillas, limos y arenas), éstas últimas en sus fracciones ligeras y densas, para inferir aspectos sobre la génesis y las variaciones composicionales de las diferentes fases minerales y cómo se ha producido la transformación de unas fases en otras.

Finalmente, hay que destacar que aún siendo una ciencia base, de gran importancia para todas las actividades humanas e incluso la propia supervivencia de nuestra especie, la Geología sigue siendo una disciplina desconocida para gran parte de la sociedad española (Anguita, 2006; Castilla y De la Iglesia, 2008; Calonge García, 2010; entre otros) y las actividades de divulgación de la misma son escasas (Gutiérrez-Marco, 2005). La Sociedad invierte parte de sus recursos en la formación de sus investigadores, por lo que desde el EIIGPBS creemos que no basta con realizar trabajos de

investigación que solo sirvan a la comunidad científica, sino que todos los geólogos tenemos el deber de realizar una importante labor de divulgación de las Ciencias de la Tierra, así como intentar innovar y mejorar los materiales y métodos didácticos que utilizamos en la enseñanza de estas ciencias tanto en la Educación Primaria y Secundaria como en la Educación Superior, para que nuestros conocimientos reinviertan en la Sociedad. Esta dimensión social del trabajo de los geólogos es la que nos lleva a incluir un capítulo que recoge parte de los estudios y actividades de divulgación e innovación educativa que se han llevado a cabo en el transcurso de la realización de esta Tesis Doctoral.

a)



b)



Figura 1.2- Mapas geográficos del área de estudio en las inmediaciones de Pozuelo de Alarcón, Aravaca y Húmera (Comunidad de Madrid): a) mapa detallado de la zona con indicación de la posición de los dos yacimientos paleontológicos objeto de estudio (pentágonos negros); b) imagen aérea del área de estudio con indicación de los metros cuadrados de superficie estudiados. Las imágenes proceden de la aplicación PLANEIA de la Web Madrid.org de la Comunidad de Madrid.

Para llegar al objetivo de esta Tesis se plantean una serie de objetivos específicos que responden a los diferentes capítulos en los que se ha organizado este manuscrito:

Objetivo específico 1: Realizar una recopilación y análisis detallados de los conocimientos actuales sobre la Cuenca de Madrid y en especial de sus materiales siliciclásticos, como punto de partida para un análisis multidisciplinar del área de Somosaguas-Húmera (objetivo reflejado en los capítulos 2 y 3).

Objetivo específico 2: Describir detalladamente, desde el punto de vista estratigráfico y sedimentológico, las diferentes unidades litoestratigráficas y las microfacies locales asociadas en los yacimientos de Somosaguas y Húmera, facilitando futuros trabajos de correlación (capítulo 4).

Objetivo específico 3: Caracterizar la distribución clastométrica de diversos niveles dentro de la secuencia estratigráfica estudiada con el objeto de deducir los mecanismos de transporte y las condiciones energéticas del mismo, confirmando así los procesos y medios de transporte inferidos previamente para este área (capítulo 5).

Objetivo específico 4: Mediante el estudio composicional/modal de los minerales ligeros y densos deducir su procedencia y confirmar el ambiente geotectónico en el que se formaron (capítulo 6).

Objetivo específico 5: A partir del estudio de las características macro y micromorfológicas, las características microtexturales y las alteraciones minerales de los sedimentos de Somosaguas y Húmera deducir los procesos de transformación entre fases minerales y las características de la erosión, transporte, sedimentación y diagénesis que han propiciado su formación (capítulos 5 y 7).

Objetivo específico 6: Caracterizar las asociaciones de minerales de la arcilla presentes en los yacimientos de Húmera y Somosaguas, así como sus peculiaridades microtexturales y composicionales para poder inferir secuencias de evolución cristaloquímica entre las fases minerales de los yacimientos y las fases minerales predominantes en el área fuente (capítulo 7).

Objetivo específico 7: Mediante el uso de diferentes índices y parámetros, y en base a los datos cristaloquímicos, mineralógicos, petrológicos y sedimentológicos, inferir las condiciones ambientales y climáticas predominantes durante el periodo en el que se produjo el depósito de los sedimentos estudiados (capítulos 5, 6 y 7). Así se podrá comprobar si las variaciones climáticas inferidas por estudios paleontológicos e isotópicos han dejado su impronta sobre la composición de los sedimentos.

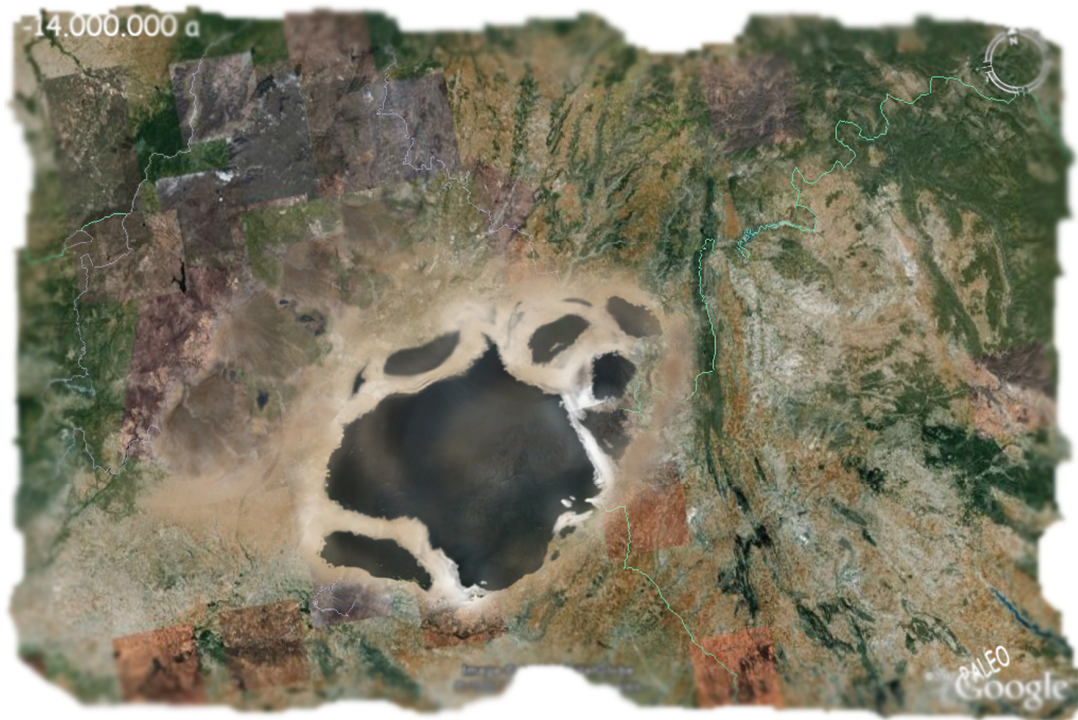
Objetivo específico 8: Exponer una serie de líneas de trabajo, dirigidos a la divulgación y a la innovación educativa, realizados con el objetivo de acercar a la sociedad, de una forma amena, los conocimientos que se han adquirido durante el periodo de doctorado y realización de la Tesis Doctoral (capítulo 8).

Se incluye un capítulo de síntesis y conclusiones generales (capítulo 9) que recopilará los datos más relevantes de cada uno de los capítulos anteriores para realizar un análisis conjunto de éstos y poder inferir las características paleoambientales, paleoclimáticas, diagenéticas y de procedencia que se obtienen de este estudio multidisciplinar. El capítulo 8, por ser de una temática paralela tendrá su propio apartado de conclusiones. Al inicio de cada capítulo se indican las publicaciones en las que de forma total o parcial han quedado reflejados los resultados de dicho capítulo.

Capítulo 2

Antecedentes de la Cuenca de Madrid

“No renegemos del pasado”
Leonardo Da Vinci



2.1- Introducción

La cuenca sedimentaria del Tajo es una de las cuencas intracratónicas cenozoicas de la Península Ibérica. De morfología aproximadamente triangular, ocupa una extensión de unos 20.000 Km², y se subdivide en tres subcuencas, la cuenca de Madrid, la cuenca de Loranca y la de Campo Arañuelo. La cuenca de Madrid esta delimitada en sus bordes por sistemas montañosos de diversa génesis y litologías diferentes, que afectan directamente la composición de los sedimentos de esta cuenca. Al Norte y Oeste se sitúa el Sistema Central, al Este está delimitada por la Sierra de Altomira, al Noreste por la Cordillera Ibérica y al Sur por los Montes de Toledo (ver Figura 1.1).

2.2- Génesis y Características Estructurales

El origen de esta cuenca se relaciona con la convergencia entre las placas africana y euroasiática (Vegas y Banda, 1982; De Vicente *et al.*, 1996a; Sanz de Galdeano, 1996), la formación del proto-Atlántico y la estructuración de la parte occidental de la cuenca mediterránea (Meléndez Hevia, 2004). Todos estos procesos están relacionados con la tectónica desarrollada durante la Orogenia Alpina que rejuveneció los rebordes montañosos de esta cuenca y fracturo su basamento, rellenado posteriormente con sedimentos terciarios (De Vicente *et al.*, 2007). Los sedimentos que rellenan la cuenca son predominantemente de edad neógena en superficie y paleógenos en potencia (Alonso-Zarza *et al.*, 2004). Las subcuencas de Madrid y Loranca se individualizaron durante el levantamiento, a finales del Paleógeno, de la Sierra de Altomira, que sigue una dirección Norte-Sur, dejando en su vertiente occidental la Cuenca de Madrid y en la oriental la Cuenca de Loranca (Alonso-Zarza *et al.*, 2004). Esta última cuenca es un estrecho cinturón de pliegues y cabalgamientos, bien estudiada, aunque con características ligeramente diferentes a las de la cuenca de Madrid (Vilas y Pérez González, 1971; Díaz-Molina, 1974; Díaz-Molina y López-Martínez, 1979; Torres *et al.*, 1984; Arribas *et al.*, 1996; Daams *et al.*, 1996; Díaz-Molina y Muñoz-García, 2010, entre otros muchos). La Cuenca de Campo Arañuelo esta situada al Suroeste, entre los ríos Tajo y Tietar. Es de origen tectónico y limita al Norte con el Sistema Central (Sierra de Gredos), su principal área fuente, y al Sur y Oeste con los Montes de Toledo (Torres *et al.*, 1984). Los sedimentos que la rellenan, en general detríticos, aunque hacia el Sur también carbonatados, se han considerado de edad Aragoniense (Alberdi *et al.*, 1983) y por lo tanto parece que ha funcionado como cuenca sedimentaria desde épocas más tardías a las de la Cuenca de Madrid, con la que se comunican mediante un estrecho pasillo.

Según Civis (2004) se pueden observar dos grandes fases en la génesis y evolución de la Cuenca del Tajo, con regímenes tectónicos diferenciados. La primera se corresponde con un régimen distensivo (Mesozoico) y la segunda con uno compresivo (Paleógeno y Mioceno), ambas de carácter bastante global en toda la Península Ibérica. Durante el Cretácico tuvo lugar en la Península una transgresión producida por la mayor subida del nivel del mar de todo el Mesozoico (Hardenbol *et al.*, 1998). Este proceso originó amplias plataformas carbonatadas y llego a conectar el Tethys con el proto-Atlántico a finales del Cretácico (Martín Chivelet, 1992). Mientras tanto, en el Norte peninsular tenía lugar la apertura del golfo de Vizcaya, acompañada de un giro en sentido antihorario de toda la

Península (Olivet, 1996; García *et al.*, 2004). La transgresión marina cretácica depositó sedimentos cretácicos similares a ambos lados del actual Sistema Central, por lo que se deduce que no existía en esos momentos como tal relieve (Alonso y Mas, 1982). Según Vegas *et al.* (1990) durante el Cretácico superior- Mioceno inferior tuvo lugar la primera fase de la evolución tectónica que formaría el Sistema Central. Esta primera fase se correspondería con un mecanismo de cizalla simple que reactivó las fracturas del basamento Hercínico y generó la fragmentación en bloques de la Cuenca de Madrid. Durante el Cretácico terminal más hacia el Este del Sistema Central, se originaron movimientos extensivos que mediante fallas normales abrieron una cuenca de sedimentación Mesozoica.

Las fallas que desde la Orogenia Hercínica y hasta el final del Mesozoico funcionaban como directas pasan a funcionar como inversas por una nueva fase compresiva y los materiales mesozoicos se deforman plásticamente sobre éstos generando pliegues, cabalgamientos y mantos de corrimiento (Meléndez Hevia, 2004). El acercamiento de las placas Africana y Euroasiática, que se había iniciado a finales del Cretácico continúa durante todo el Terciario y es la causante de esta variación en el régimen tectónico de la Península. A la par se producía el relevo de la sedimentación carbonatada por otra cada vez más continental, representada por terrígenos y evaporitas, debido a una regresión marina generalizada (García *et al.*, 2004). Como consecuencia de este nuevo régimen tectónico la Península queda compartimentada y comienza la individualización de las cuencas cenozoicas. En el interior se forman dos grandes cuencas intracratónicas, las depresiones del Duero y del Tajo, separadas por el Sistema Central (Alonso Zarza *et al.*, 2002). Estas cuencas funcionaron durante un largo periodo como cuencas endorreicas (sin salida al mar), lo que generó importantes espesores de evaporitas en épocas más secas y de carbonatos de agua dulce en épocas más húmedas y con una amplia actividad de los microorganismos favorecedores de las formaciones carbonatadas. Según Vegas *et al.* (1990) es durante este nuevo régimen, de edad intraaragoniense, cuando se produce el rejuvenecimiento del relieve del Sistema Central mediante fallas inversas que originan una estructuración de tipo *pop-up* (Meléndez Hevia, 2004), como se explicará más adelante. Mientras tanto, al Norte se forman los Pirineos, la Cordillera Cantábrica o los Montes Vascos, teniendo como antepaís la cuenca del Ebro, y al Sur las Cordilleras Béticas, con la cuenca del Guadalquivir como antepaís. Durante esta nueva etapa la cuenca Mesozoica formada en la fase distensiva anterior, al Este del Sistema Central, empieza a emerger y formar la Cordillera Ibérica inducida por los esfuerzos compresivos producidos durante la Orogenia Alpina.

En la Cuenca de Madrid los sedimentos terciarios están depositados sobre materiales cretácicos en los sectores Norte, Este y Noroeste, mientras que en el resto de la cuenca se apoyan directamente sobre el zócalo granítico-metamórfico (Martín Escorza y Hernández Enrile, 1972; Junco y Calvo, 1983). Los mayores espesores de sedimentos paleógenos visibles en afloramientos están en los bordes de la Cuenca. La potencia de los sedimentos terciarios es variable a lo largo de la Cuenca de Madrid, debido a la reactivación de fallas contemporáneas con la sedimentación principal (Alía Medina, 1960; Martín Escorza, 1976) lo que origina una estructura en bloques que favorecen una mayor potencia de sedimentos en las zonas mas hundidas. Los sondeos profundos y los datos sísmicos (Caramés *et al.*, 1973; Junco y Calvo, 1983; Megías *et al.*, 1983; Martín Escorza, 1983; Racero, 1988 y Querol, 1989, entre otros) ponen de manifiesto la asimetría del basamento con diferentes

espesores en el relleno terciario, alcanzándose los máximos (depocentro) en zonas próximas al Sistema Central. Alía *et al.* (1973) afirman que los movimientos de subsidencia de la cuenca fueron más acusados junto al Sistema Central que junto a los Montes de Toledo. Los mantos de corrimiento asociados a los bordes de cuenca indujeron el plegamiento de los sedimentos paleógenos depositados en fases compresivas, mientras que los sedimentos neógenos posteriores aparecen relativamente horizontales sobre los anteriores.

El Sistema Central constituye una alineación estructural que controla en gran parte el desarrollo de la Cuenca de Madrid, de igual forma que las fallas del basamento controlan los cambios laterales de facies del centro de la Cuenca (Calvo *et al.*, 1991a). Esta alineación estructural, de edad Tardihercínica fue reactivada durante la Orogenia Alpina (Portero y Aznar, 1984) en las fases Castellana (Eoceno superior-Oligoceno; Pérez González, 1971) y Neocastellana (Mioceno inferior terminal; Aguirre *et al.*, 1976; Nodal *et al.*, 1976) originando un importante relieve en el Sistema Central, que seguirá elevándose en posteriores fases tectónicas, como las importantes elevaciones del Mioceno medio (Aragoniense medio y superior; De Vicente *et al.*, 1996a, 2007; Calvo *et al.*, 1989a) y que llevan asociadas engrosamiento cortical y sismicidad (Tejero y Ruiz, 2002). A partir de Mioceno medio los sistemas aluviales asociados al Sistema Central son los más penetrativos en la Cuenca, como resultado de la renovada actividad en este borde. Mientras tanto, la Cordillera Ibérica y los Montes de Toledo son mucho menos activos en este periodo (Alonso-Zarza *et al.*, 1990). Localmente, en la Cuenca de Madrid se observa una discordancia angular entre las unidades Inferior e Intermedia del Mioceno (Alonso-Zarza *et al.*, 2004). Esta discontinuidad refleja movimientos compresivos y direccionales en el Sistema Central (De Vicente *et al.*, 1996b) y que se correlacionarían con la “Fase Guadarrama” (Capote *et al.*, 1990).

El cambio generalizado en la estructuración de la Cuenca, de un régimen compresivo a otro distensivo, tuvo lugar en el Vallesiense superior (De Vicente *et al.*, 1996a) y que a grandes rasgos coincide con el paso de la Unidad Intermedia a la Superior en el Mioceno de la Cuenca de Madrid y del segundo al tercer ciclo sedimentario de la Cuenca de Loranca (Alonso-Zarza *et al.*, 2004). Desde el Vallesiense hasta el Plioceno continúan funcionando las fallas normales de centro de cuenca, siendo en el Plioceno inferior (Fase Iberomanchega1, Aguirre *et al.*, 1976) cuando se deforman las calizas de la unidad Superior y se originan sinclinales, a favor de los cuales se instala la nueva red fluvial que fosiliza el karst originado sobre esta unidad y que indica un carácter netamente exorreico de la Cuenca, que hasta finales del Mioceno había sido endorreica. Durante el Plioceno superior tiene lugar una nueva fase de deformación (Iberomanchega 2) que Aguirre *et al.* (1976) consideran la causante de la deformación de los materiales hasta entonces depositados. Según Vaudour (1974), es durante esta etapa cuando se produce el basculamiento general de la cuenca hacia el Suroeste, aunque García Abbad (1975) lo considera como intracuaternario y Pérez González (1979) del Mioceno superior-Plioceno inferior. En 1976, Aguirre y colaboradores, distinguen dos discordancias en el Mioceno de esta cuenca sedimentaria; una entre la Unidad Inferior y la Intermedia, producida como respuesta a la fase Neocastellana, citada previamente por Hernández Pacheco *et al.* (1969). La otra la sitúan en el Mioceno superior bajo las Calizas del Páramo y la denominan intravallesiense, habiendo sido citada anteriormente por Capote y Carro (1968) y definida por Alía *et al.* (1973) como discordancia erosiva prefontiense de la Mesa de Ocaña. En el tránsito al

Cuaternario se produce la integración de la red de drenaje pliocena con la red de drenaje extracuenal atlántica (Silva y González-Hernández, 2005).

En los bordes de la Cuenca de Madrid los sedimentos mesozoicos y paleógenos que afloran están relativamente plegados y en ellos se observan discordancias angulares. En cambio, a centro de cuenca, donde afloran los sedimentos neógenos, las deformaciones son difíciles de percibir por los abundantes cambios laterales de facies. A pesar de esta aparente horizontalidad, Capote y Fernández-Casals (1978) citan deformaciones en forma de pliegues anticlinales y sinclinales de gran radio y los relacionan con la adaptación de estos sedimentos a las fallas del zócalo.

Un contraste más detallado entre las ideas más relevantes planteadas hasta el momento sobre la estructura y el emplazamiento del Sistema Central y la configuración estructural de la cuenca de Madrid se puede ver en las publicaciones de Martín Escorza (1983), Vegas *et al.* (1990), De Vicente *et al.* (1996a y b, 2007), De Vicente y Muñoz-Martín (2013), entre otros.

2.3- Características Estratigráficas y Medios Sedimentarios

La característica más notable desde estos puntos de vista es la gran variedad de facies existentes en la Cuenca de Madrid y la complejidad de los cambios laterales entre estas, que es debida a una sedimentación detrítica muy activa de los materiales procedentes de la erosión de los diferentes sistemas montañosos que la bordean. Como ya se ha comentado, de forma contemporánea a la sedimentación se producía una importante actividad tectónica, generando facturación en bloques del basamento y condicionando las estructuras de los sedimentos suprayacentes. Mientras tanto, en el centro de la cuenca tenía lugar la neoformación de sedimentos evaporíticos en régimen endorreico y que solo pasara a ser exorreica a partir del Plioceno.

Los márgenes de la cuenca presentan características litológicas muy diversas y por lo tanto los depósitos que de ellos proceden son también muy diferentes. Según Calvo *et al.* (1989b) las áreas fuente de los sedimentos que rellenan la cuenca se pueden clasificar en tres grupos:

- Segmentos del Orógeno Hercínico reciclado en el ciclo Alpino (Sistema Central y Montes de Toledo). El Sistema Central será el margen mas activo durante la sedimentación neógena y por lo tanto el que tiene más interés en nuestro estudio.
- Orógenos Alpinos con litologías de edades mesozoicas y paleógenas (Rama castellana de la Cordillera Ibérica).
- Pliegues-falla, cabalgamientos y mantos de corrimiento (Sierra de Altomira).

En este apartado se describen brevemente las litologías de los bordes de la Cuenca de Madrid para posteriormente comprender mejor la descripción de los cambios sedimentológicos producidos en su interior, tanto en la vertical como en la horizontal.

Sistema Central: se observa que la parte más occidental (Sierras de Guadarrama y Gredos) de este sistema montañoso se corresponde con materiales plutónicos (granitos *s.s.*, granodioritas, leucogranitos, monzogranitos y granitos biotíticos, principalmente; Villaseca *et al.*, 1993), cuyo emplazamiento principal se produjo en el Carbonífero superior (Meléndez Hevia, 2004), y materiales metamórficos resultantes de un proceso de granitización de sucesiones meta-sedimentarias de edades variables, desde antes del Ordovícico hasta el Carbonífero terminal (migmatitas, gneises y esquistos principalmente; López Ruiz *et al.*, 1975) que fueron plegadas y fracturadas, y posteriormente, en la fase tardihercínica, volvieron a fracturarse y sufrieron procesos de magmatismo e hidrotermalismo, reflejados en los variados diques que se emplazaron en estas sierras (Huertas Coronel y Villaseca, 1994). En la zona más oriental (Somosierra), en cambio, los materiales son principalmente metamórficos (grados muy bajo a medio), aumentando su grado metamórfico hacia el Oeste y predominando las filitas, cuarcitas, pizarras y micaesquistos (Calvo, 2000). Ambos dominios quedan separados por la falla de Berzosa-Riaza, cuya continuación estructural parece ser el eje del río Tajuña.

La presencia, en la Sierra de Guadarrama, de sucesiones estratigráficas preservadas de las etapas periglaciares cuaternarias supone un punto de interés por los datos paleoclimáticos que aportan de este periodo geológico. Estudios recientes sobre la evolución sedimentaria de sucesiones locales de esta sierra ponen de manifiesto varias fases de enfriamiento y paso a climas más templados (Domínguez Villar, 2004).

Montes de Toledo: están formados por materiales graníticos originados durante las intrusiones de finales del Carbonífero, y que por fracturación en bloques y levantamiento de éstos fueron rejuvenecidos desde finales del Cretácico superior, por la acción de la Orogenia Alpina (Aparicio Yagüe, 1971). Los materiales metamórficos son cuarcitas, pizarras, gneises y migmatitas de edades paleozoicas, generalmente del Paleozoico inferior, bastante fracturadas, que pasan hacia el Sur a materiales graníticos y escasos materiales detríticos (Calvo, 2000).

Rama Castellana de la Cordillera Ibérica: este borde de la Cuenca es más joven que el Sistema Central; así, durante el Mesozoico funcionó como cuenca de sedimentación exorreica, llegando a unir el proto-Atlántico y el Tethys durante el Cretácico terminal (Martín-Chivelet, 1992). A finales del Cretácico terminal y en el ámbito de los esfuerzos compresivos de la Orogenia Alpina inició su emersión y levantamiento con plegamientos y fallas, aunque en general destacan los mantos con nivel de despegue en las evaporitas triásicas. Los materiales mesozoicos de esta Cordillera con diversas discordancias e hiatos en su interior se apoyan sobre un núcleo Paleozoico. Las litologías son mayoritariamente detríticas en el Pérmico, pasando a ser evaporíticas y carbonatadas en el Triásico, con representación de las facies germánicas en algunas zonas (Arribas, 1986). Durante el Jurásico se depositan predominantemente carbonatos marinos y litorales, pasando por último a las series cretácicas que en su base son calizas y dolomías y hacia techo pasan a margas y yesos. También hay materiales detríticos de esta edad representados por las arenas de las facies Utrillas y por lutitas y limos (Meléndez Hevia, 2004).

Sierra de Altomira: es el borde más joven de la cuenca de Madrid, ya que se formó a finales del Paleógeno y los materiales que lo constituyen son similares a los de la Cordillera Ibérica (Calvo, 2000).

Una vez descritos someramente los bordes de cuenca describimos a continuación los materiales de relleno de la cuenca de Madrid:

Materiales cretácicos: se adosan discordantemente a los materiales plutónicos y metamórficos al Norte, Noreste y Noroeste de la cuenca y su composición es de terrígenos de facies Utrillas en la base y alternancias de ciclos de sedimentación marina y continental, con carbonatos y detríticos hacia techo, respectivamente (Portero y Olivé, 1983).

Materiales paleógenos: estos presentan las mayores potencias de sedimentos de la cuenca, pero muestran reducidos afloramientos con lo que su estudio se ha limitado a sondeos de centro de cuenca y descripciones de afloramientos en los bordes de ésta. Hacia techo de las formaciones cretácicas se observa un predominio de la sedimentación continental que prosigue durante el Eoceno. Estos materiales son terrígenos y evaporitas de varios centenares de metros. Desde el Eoceno superior al Oligoceno terminal (Portero y Olivé, 1983), mediante paraconformidad o discordancia angular, se depositan sobre los sedimentos anteriores unos 750 metros de carbonatos y margas que pasan verticalmente a terrígenos cada vez más gruesos. En líneas generales se han diferenciado dos grandes unidades dentro del Paleógeno (Alonso Zarza *et al.*, 2004) de las zonas septentrionales de la cuenca:

La unidad inferior (Torrelaguna-Uceda; Portero y Olivé, 1983) está formada por más de mil metros de terrígenos (Conglomerados y lutitas), yesos y calizas, indicativas de ambientes de abanicos aluviales y lagos evaporíticos con edades de Cretácico superior-Eoceno y que reposan discordantemente sobre los materiales cretácicos anteriores de carácter marino.

La unidad superior (Beleña de Sorbe-Torremocha de Jadraque; Portero y Olivé, 1983) esta formada por un máximo de 900 metros de materiales muy diversos y que Alonso Zarza *et al.* (2004) dividen en tres subunidades:

- Calizas y margas lacustres de edad Headoniense - Eoceno superior (Arribas, 1986).
- Detríticos muy diversos y niveles de yesos, margas y calizas de edad Sueviense – Arverniense (Oligoceno).
- Lutitas rojas con niveles de areniscas y conglomerados muy edafizados de edad Oligoceno superior.

La correlación de estas series con los materiales paleógenos del Sur de la cuenca es difícil por la discontinuidad de afloramientos y escasez de fósiles, aunque se puede destacar un carácter más detrítico al Sur, la falta de yesos, abundantes silicificaciones (Martín Escorza, 1974; Ordóñez *et al.*, 1977) y una gran concentración de paligorskita (Calvo *et al.*, 1993b; Rodas *et al.*, 1994).

Materiales neógenos: son los materiales mejor estudiados, ya que cubren la mayor parte de la superficie de la cuenca.

La primera síntesis estratigráfica realizada en épocas recientes se debe a los trabajos de Riba (1959) y Benayas *et al.* (1960) en los que se definen para el Neógeno 4 facies detríticas marginales, una facies central evaporítica y facies de transición entre ambos grupos. Según el área fuente de las formaciones detríticas definen cuatro facies; Facies Madrid y Facies Guadalajara, provenientes del Sistema Central, Facies Toledo, proveniente de los Montes de Toledo y Facies Alcarria, correspondientes a la Cordillera Ibérica. Las facies de transición las caracterizan como niveles de lutitas palustres y calizas lacustres con intercalaciones de niveles sepiolíticos y nódulos de sílex. López Vera (1977a,b) distingue tres subfacies en los abanicos, desde mas proximal (*Stream floods*) con depósitos groseros hasta mas distal (*Grain flow* y *mud flow*) con depósitos finos, pasando por los depósitos canalizados y los flujos de derrubios (*Debris flow*) en las zonas medias. Torres *et al.* (1984) diferencian tres megasecuencias desarrolladas bajo régimen endorreico. Todas ellas responden a una estructura concéntrica con lagos mas o menos evaporíticos o carbonatados en el centro, facies de llanura fangosa en la transición a las facies detríticas de los abanicos aluviales progradantes y coalescentes hacia centro de cuenca. Según Calvo *et al.* (1989b) las facies sedimentarias del Aragoniense indican una zona lacustre poco profunda rodeada al Noreste y Este por abanicos aluviales con amplias llanuras de inundación; al Norte por abanicos aluviales litoareníticos y al Noroeste, Oeste y Sur por aluviones arcósicos. Atribuyen estas diferencias a la tectónica diferencial, a las características litológicas de las áreas fuente y a las características propias de los sistemas deposicionales. Alonso-Zarza *et al.* (2004) y Cuevas-González (2005a) añaden a estos factores la climatología. La formación de paleosuelos en secuencias fluviolacustres al N y NE de la cuenca indican condiciones variables durante esta época, así en el N se infieren condiciones más áridas, relieves más acusados y mayor actividad tectónica que en el NE, y mientras que en el N se suelen formar calcretas en los abanicos, en el NE se distingue la influencia de procesos pedogénicos (Alonso Zarza *et al.*, 1992). A pesar de que la mayor parte de las investigaciones realizadas han sugerido un ambiente endorreico durante el Mioceno de esta cuenca, Cuevas-González (2005a) indica que no se pueden descartar configuraciones no endorreicas debido a la gran complejidad y distribución de facies, como ya habían sugerido Ordóñez *et al.* (1982).

En función de sus características tectónicas, sedimentológicas y estratigráficas se han propuesto tres unidades deposicionales (Unidades Tectosedimentarias) separadas por discontinuidades para el Mioceno de esta cuenca (Megías *et al.*, 1982, 1983; Junco y Calvo, 1983; Alberdi *et al.*, 1983; Alberdi, 1985; Calvo *et al.*, 1993a) y que presentan carácter progradante y polaridad positiva.

- Unidad Inferior (Ramblense-Aragoniense medio)
- Unidad Intermedia (Aragoniense medio-Vallesiense inferior)
- Unidad Superior (Vallesiense-Turolense)

A continuación se describen cada una de las Unidades del Mioceno en función de su estructura concéntrica:

Unidad Inferior: el contacto con el Paleógeno es por discordancia angular y erosiva en los bordes de la cuenca y paraconformidad en el centro de ésta.

- Las facies detríticas (N y S de la cuenca) están representados por abanicos aluviales de naturaleza arcósica, muy inmaduros, mal seleccionados y con alto contenido en arcillas, y según Alberdi *et al.* (1984) en las zonas distales presentan costras pedogénicas. Al Este de la cuenca están formados por brechas dolomíticas y yesíferas cementadas en las zonas distales por una matriz yesífera (Rodríguez Aranda *et al.*, 1991). Para la zona Oeste, Calvo *et al.* (1989c) reconocen arcosas gruesas con cantos y arenas arcósicas formadas por secuencias granocrecientes y López Olmedo *et al.* (2003) reconocen varias subunidades en estas facies.

- Las facies de transición conectan mediante cambio lateral las facies detríticas con las evaporíticas de centro de cuenca (Alberdi *et al.*, 1984). En la zona Oeste están formadas por arcillas verde-grisáceas muy bioturbadas por raíces y con alto contenido en materia orgánica, características de llanura fangosa. Según Alberdi *et al.* (1985) en las zonas de contacto con los detríticos se observan fenómenos pedogénicos, intercalaciones de arenas micáceas con alta selección y ricas en mica negra, además de sepiolita de espesor métrico. Hacia el Sur aparecen intercalaciones de yesos y dolomías y García del Cura *et al.* (1986) describen la presencia de sales magnésicas (glauberita y polihalita). Según Calvo *et al.* (1989c) las arcillas muestran característicos tonos verdosos y son muy ricas en materia orgánica. Hacia el Este, Rodríguez Aranda *et al.* (1991) describen la transición desde la sierra de Altomira. Estos autores observan lutitas con abundante bioturbación por raíces, con intercalación de niveles arenosos y de glauberita y yeso. Interpretan esta zona como una llanura lutítica tipo *Sabkha*.

- Las facies centrales se han denominado como Unidad Salina y presentan yeso, anhidrita e intercalaciones de arcillas verdes ricas en materia orgánica. Según Megías *et al.* (1983) el área Sur de estas facies presenta dos subunidades: una inferior formada por anhidrita y sales magnésicas (glauberita y polihalita), con intercalación de margas y lutitas ricas en materia orgánica (Calvo *et al.*, 1989a), y una superior compuesta por detríticos finos localmente ricos en sales magnésicas (glauberita y thenardita).

Unidad Intermedia: el contacto con la Unidad Inferior es mediante discordancia diacrónica, observándose fenómenos de karstificación a techo de la Unidad Inferior (Rodríguez Aranda *et al.*, 2002). Además, la presencia de yesos detríticos en la base de la Unidad Intermedia indica la importante acción erosiva que tuvo sobre la unidad anterior.

- Las facies detríticas en las áreas Oeste y Noroeste mantienen las características de la Unidad Inferior, con arcosas mejor seleccionadas, denominadas Facies Madrid. En zonas distales se desarrollan abundantes niveles de sílex, sepiolita y dolomita (Alberdi *et al.*, 1985) y en los abanicos del Norte, Alonso-Zarza *et al.* (1992), destacan la presencia de paleosuelos carbonatados. En el borde NE destaca la presencia de paleosuelos que presentan escaso desarrollo vertical, lo que se interpreta como consecuencia de rápidas

agradaciones de los abanicos que no permiten su desarrollo (Alonso-Zarza *et al.*, 1992). En el borde Este se observan brechas calcáreas con menos matriz yesífera que en la Unidad Inferior (Rodríguez Aranda *et al.*, 1991).

- Las facies de transición al Norte y Noroeste presentan sedimentos arcillosos verdes con frecuentes niveles de carbonatos y esporádicas capas de sílex y sepiolita. Es en el contacto con las facies detríticas donde Hoyos *et al.* (1985) describen las intercalaciones de arenas verdes micáceas, características de esta Unidad. En el área NE, Alonso-Zarza (1989) señala la irregularidad de estas facies, debido a la penetrabilidad diferencial de los abanicos procedentes del Norte y Este. Los sedimentos son lutíticos con intercalaciones de carbonatos lacustres y, en zonas distales, canales de arenas y gravas. En esta zona, Calvo *et al.* (1989b) encuentran un carácter mucho más perenne de los lagos y diferencian calizas estromatolíticas y tobáceas, biomicritas y margas ricas en materia orgánica. En la zona Sur, Sanz-Montero (1996) describe esta facies como una alternancia de lutitas yesíferas y yesos detríticos.

- Las facies palustres-lacustres centrales son fundamentalmente carbonatadas con intercalaciones de arcillas (Alberdi *et al.*, 1984). Hacia la parte central se produce un enriquecimiento en yesos que pasa finalmente a secuencias de yesos detríticos y tabulares, conocidos como Serie Blanca (Calvo *et al.*, 1989b). Hacia techo predominan los carbonatos de agua dulce que progradan sobre las facies de borde en la mayor parte de la cuenca. Hacia techo de la unidad se describe el desarrollo de un paleocarst (Cañaveras *et al.*, 1996) sobre los carbonatos y las margas centrales. Esta unidad presenta una ruptura neta de edad Aragoniense superior que la divide en dos subunidades distinguibles al Este (Alonso-Zarza *et al.*, 1986) y Noreste (Alonso-Zarza *et al.*, 1990) de la cuenca.

Unidad Superior: presenta poca potencia y base erosiva sobre la Unidad Intermedia sellando el paleocarst desarrollado a techo de esa unidad. El nivel inferior de esta Unidad es detrítico y se corresponde con la “Red Fluvial IntraMiocena” (Capote y Carro, 1968). El nivel superior es carbonatado y se corresponde con las denominadas “Calizas del Páramo”, formadas en lagos de agua dulce muy someros (Bustillo, 1980; Calvo, 2000). Es durante esta etapa cuando la cuenca, según los datos actuales, deja de funcionar como endorreica y pasa progresivamente a ser exorreica.

Plioceno: los afloramientos de esta edad solo presentan cierta continuidad en las zonas Sur y Este de la cuenca. Según Alonso Zarza *et al.* (2004) se pueden diferenciar dos unidades. La Unidad Inferior detrítica (Sanz-Montero, 1996), formada por lutitas rojas, areniscas y conglomerados con frecuentes rellenos carbonatados de canales y cuyo contacto con la Unidad Superior del Mioceno es por medio de una discordancia erosiva. La Unidad Superior forma rañas y rampas arenosas en los bordes de cuenca y una potente calcreta laminar a centro de ésta (Sanz-Montero, 1996). Según este último autor, las variaciones del grado de aridez durante el Plioceno condicionan la formación de sistemas cársticos, en etapas más húmedas, y calcretas laminares en las más áridas.

Materiales Cuaternarios: Al contrario que en otras cuencas, en la Cuenca de Madrid estos materiales no presentan un gran desarrollo y se suelen limitar a las terrazas y valles de

la red fluvial actual, estando representadas litológicamente por sedimentos detríticos de diversa composición mineralógica (Silva *et al.*, 1999; Blanco García, 2004; entre otros).

La abundancia, principalmente en la parte Oeste de la cuenca de Madrid, de materiales arcósicos muy homogéneos de “visu” ha propiciado que en la literatura clásica se denominen de forma genérica como Arcosas de Madrid (Portero y Olivé, 1983), y son pocos los datos relevantes sobre estudios sistemáticos y detallados de la geología de esta zona. Hasta el inicio de los estudios en el área de Somosaguas no se había realizado una diferenciación de las unidades litoestratigráficas mayores en el área oeste de la cuenca de Madrid (Portero *et al.*, 1990). Los sedimentos depositados en el yacimiento de Somosaguas, tanto por su estratigrafía como por su datación, se correlacionan con la Unidad Tectosedimentaria Intermedia del Mioceno de la cuenca de Madrid (Mínguez Gandú, 2000; Megías *et al.*, 1983).

2.4- Características Petroológicas y Mineralógicas

En la cuenca de Madrid hay un claro predominio de tres grupos de minerales: 1) Tectosilicatos y fases poco cristalinas, amorfas o biogénicas de éstos (cuarzo, feldespatos, ópalo, sílex, sílex-opalino, diatomitas,...); 2) Minerales de evaporitas (principalmente carbonatos y sulfatos, como calcita, dolomita, magnesita, yeso, anhidrita, glauberita, thenardita, aunque también cloruros, como halita, polihalita, etc.), 3) Filosilicatos (micas, cloritas, illitas, esmectitas, caolinita, sepiolita, paligorskita, etc.). Otros minerales importantes aunque minoritarios en la cuenca son los minerales densos (principalmente nesosilicatos, ciclosilicatos, óxidos y fosfatos), que han sido utilizados en estudios de procedencia (Palomares *et al.*, 1989; Alonso-Zarza y Fort, 1991; Pérez Mazarío *et al.*, 1992; entre otros) o como termocronómetros, geotermómetros y geobarómetros, principalmente en la zona del Sistema Central (Aparicio Yagüe y García Cacho, 1982; Sell *et al.*, 1995; Villaseca y Orejana, 2008).

Son numerosos los trabajos realizados sobre diversos sectores de la cuenca en los que se describe de forma más o menos detallada la mineralogía de las diversas Unidades sedimentarias y los cambios laterales de facies que conllevan cambios mineralógicos (Lomoschitz *et al.*, 1985; Bustillo y Alonso-Zarza, 2003; Bustillo, 2010, entre otros). Debido a la propia disposición de los sedimentos y sus condiciones de afloramiento, los mejor estudiados son los sedimentos neógenos y en especial los de edad miocena. Aunque todos estos estudios han permitido tener una visión bastante completa de la mineralogía de esta cuenca, sigue habiendo lagunas y problemas sin resolver, algunos de los cuales se han puesto de manifiesto por García Romero (2004). En esta cuenca se encuentra la mayor concentración de sepiolita del mundo y grandísimas cantidades de esmectitas trioctaédricas, dolomita y magnesita, lo que la convierte en la zona con mayor acumulación conocida de minerales magnésicos en ambiente continental. Además, la sepiolita de esta cuenca destaca por su pureza y calidad (Galán y Castillo, 1984). Por otra parte, en la Unidad Inferior del Mioceno se han obtenido grandes concentraciones de sales sódicas (halita, polihalita, glauberita y thenardita), siendo España la primera productora de estas sustancias en Europa (Regueiro *et al.*, 2002).

Los primeros estudios modernos y con cierto detalle realizados en la cuenca de Madrid se centraron principalmente en los minerales de interés económico (fundamentalmente sepiolita y esmectitas trioctédricas; Martín-Vivaldi y Cano, 1956; Alonso *et al.*, 1961 y 1964; Huertas *et al.*, 1970; entre otros). Sin embargo desde la década de los setenta se han venido realizando estudios locales y regionales, al principio principalmente centrados en las arcillas y los sulfatos, y cada vez más enfocados a la descripción de las características técnicas e industriales de los minerales de la cuenca (Pérez del Villar, 1989; Cuevas, 1992; Blanco García, 2004; Villar *et al.*, 2006; Pozo Martín *et al.*, 2011a,b) y a las características cristalóquímicas y de génesis (Pozo Rodríguez *et al.*, 1999c; Bustillo *et al.*, 2012; Pozo Rodríguez *et al.*, 2014; entre otros) en parte debido a la mejora y disponibilidad de las modernas tecnologías de observación microscópica y de análisis de minerales. En los últimos años se están realizando trabajos aplicados a la arqueología y antropología de la prehistoria (Paleolítico y Neolítico) madrileña, en los que la caracterización de las rocas silíceas (sílex, ópalos y sílex opalinos) utilizadas para la confección de utensilios líticos da idea de las características petrológicas y geoquímicas que les daban su utilidad según cada zona geográfica (Bustillo *et al.*, 2012).

Una de las características mineralógicas de esta cuenca, que ha despertado creciente interés durante las últimas décadas, es la presencia de facies biosilíceas en depósitos neógenos, principalmente en la parte superior de la Unidad Intermedia del Mioceno. De forma general se puede decir que las mineralizaciones silíceas se suelen producir de forma indirecta (por disolución y reemplazamiento de rocas previas, por transformación de algunos filosilicatos y silicatos sódicos, o por acumulación de restos biogénicos como diatomeas o radiolarios) y su precipitación directa queda reservada a procesos relacionados con el hidrotermalismo.

2.4.1- Mineralogía y Alteraciones de las Áreas Fuente

El conocimiento tanto de las mineralizaciones y rocas poco alteradas como de los perfiles de alteración (alteritas) asociadas a éstas del Sistema Central son de gran interés para la presente Tesis, dado que supone el principal área de procedencia de los materiales formadores de los sedimentos de los yacimientos estudiados. Por otra parte, las alteritas han sido utilizadas por diversos autores para conocer la historia paleoclimática de determinadas áreas de esta sierra y por lo tanto supone otro punto más de interés para la presente tesis. Centeno y Brell (1987) estudiaron las características de diferentes alteritas del Sistema Central, previamente clasificadas según la edad de las alteraciones, relacionados con granitos adamellíticos y gneises glandulares. Las alteritas son en general de tamaño arena, en muchos casos con menos del 15% de fracciones limo-arcillosas (Centeno y Brell, 1987). Según estos autores, en los materiales más antiguos (cretácicos) las alteraciones son principalmente a filosilicatos (illita y caolinita al 50%). Las alteritas pre-paleógenas son algo más variables de unas zonas a otras llegando a variaciones de un 30% en feldespatos. En este grupo de alteraciones, en algunas zonas los filosilicatos son illita y caolinita (40% cada una) y cantidades menores de vermiculita (20%), mientras que en otras zonas la vermiculita esta ausente y hay un 20% de interestratificados illita/esmectita. Las alteraciones pre-miocenas están formadas por aproximadamente un 45% de filosilicatos de los que casi el 95% son esmectitas dioctaédricas con buena cristalinidad. Estos mismos

autores describen alteraciones de edad indeterminada en los que los filosilicatos suponen solo un 15%, estando compuestas casi exclusivamente por illita y cantidades pequeñas de caolinita. Finalmente, describen alteraciones pleistocenas con unos 35% de filosilicatos, en los que prevalece la caolinita, seguida de un 35 % de illita y 25% de vermiculita. Teniendo en cuenta estas variaciones Centeno y Brell (1987) utilizan los minerales de la arcilla como marcadores de variaciones paleoclimáticas, relacionando la vermiculita con alteraciones en climas templados y lixiviación moderada con precipitaciones de unos 900 mm/año (Barshad, 1966; Eberl, 1984) que sobre rocas ácidas se origina por transformación de feldespatos (Tardy, 1969) o de micas (Pacquet, 1970). La abundante esmectita de otras alteraciones lo han relacionado con alteración en climas templados, semiáridos y con baja lixiviación (Meunier, 1980; Thomson *et al.*, 1982) que sobre rocas ácidas origina transformación de micas y feldespatos (Pacquet, 1970). La abundante caolinita de las alteraciones cretácicas sería una indicadora de condiciones más cálidas y húmedas con una lixiviación más intensa que en los de más casos (Centeno y Brell, 1987).

De forma general se puede reconocer un manto de alteración desarrollado sobre la mayoría de los materiales del Sistema Central y otras montañas del macizo Hespérico, que en ocasiones quedan protegidas por silcretas o ferricretas (Vicente *et al.*, 1991, 1997; Doval *et al.*, 2012). Estos últimos autores han estudiado perfiles en la zona Oeste del Sistema Central, cercanos a la cuenca de Duero, y los materiales sobre los que se han desarrollado estas alteraciones son pizarras con micas y cuarzo principalmente, en los que se aprecian signos de oxidación con formación de óxidos de hierro. En la fracción arcillosa han reconocido esmectitas y caolinita, con cantidades variables de interestratificados, algunas con una componente de clorita que indica su previa presencia como mineral primario (Doval *et al.*, 2012). Estos autores reconocen dos líneas de alteración: una que parte de Fe-Clorita a interestratificados clorita/esmectita a esmectitas y finalmente a caolinita y óxidos de hierro; otra que parte de biotita y/o moscovita a caolinita y óxidos de hierro, ampliando así las posibles génesis de la caolinita que Tardy (1997) reducía a la alteración de feldespatos. El origen de estas alteraciones parece estar en los climas cálidos y húmedos de finales del Mesozoico y principios del Terciario (Molina *et al.*, 1990; Doval *et al.*, 2012).

Estudios similares se han realizado en otros rebordes montañosos de la cuenca de Madrid, como el estudio de las paleoalteraciones sobre los materiales de los Montes de Toledo, realizado por Vicente *et al.* (1997). En este estudio se seleccionaron perfiles de alteración sobre las rañas suprayacentes a las pizarras y rocas metamórficas de bajo grado de este área y se observaron tres estadios de alteración (Vicente *et al.*, 1991). Los principales filosilicatos de la roca original son moscovita, fengita, clorita, esmectita y caolinita (Vicente *et al.*, 1997). Estos autores observaron que los minerales micáceos se empobrecían ligeramente en K a la vez que se enriquecían en Al según el avance del grado de alteración, dando lugar a partes de cristales asimilables a illitas. Los estadios intermedios de la alteración presentan esmectitas alumínicas (montmorillonitas y beidellitas), y cantidades menores de vermiculitas alumínicas, moscovitas y fengitas. Los estadios más evolucionados de alteración presentan illitas, caolinitas y oxi-hidróxidos de hierro, con cantidades menores de moscovitas (Vicente *et al.*, 1997). Estos autores definieron varias líneas de alteración, una desde moscovita a Al-vermiculita o interestratificados mica/esmectita y finalmente Al-esmectita, otra desde clorita a montmorillonita, y una última desde fengita a minerales interestratificados. Todos estos cambios se han asignado a

dos episodios superpuestos de alteración bajo climas diferentes sucedidos a lo largo del tiempo, así como a procesos de evaporación intensa en medios con abundantes bases y sílice y condiciones de drenaje deficientes (Molina, 1980; Vicente *et al.*, 1991, 1997). En la misma región, Molina (1980) describe feldespatos disueltos que han dejado su hueco vacío o relleno de sericita y cuarzos corroídos y perforados en los perfiles más alterados, lo que correspondería a lo observado en alteraciones en ambientes tropicales (Duchaufour, 1970).

En la Sierra de Guadarrama uno de los puntos mejor estudiados es el plutón de La Cabrera que se encuentra en el sector más oriental del Sistema Central y presenta características diferenciales respecto a otros plutones de esta área (González del Tánago, 1997). Los granitos biotíticos y leucogranitos de los que esta compuesto presentan abundantes pegmatitas (González del Tánago, 1997). En éstas son frecuentes rellenos de minerales accesorios cálcicos y otros formados por alteración hidrotermal (González del Tánago, 1997; Lozano *et al.*, 1998). Mientras que el protolito granítico presenta biotitas frescas con circón, apatito, ilmenita, monacita y xenotima como minerales accesorios, en los granitos alterados las biotitas aparecen parcial o totalmente transformados en cloritas, los cuarzos presentan una ligera extinción ondulante y abundantes inclusiones fluidas secundarias, los feldespatos potásicos son peritéticos y de aspecto anubarrado, las plagioclasas han pasado a albitas con núcleos de sericita y epidota, y los minerales accesorios son apatito, esfena, anatasa, allanita y epidota (Lozano *et al.*, 2000).

2.4.2- Mineralogía de los Sedimentos de la Cuenca

En lo referente al interior de la cuenca se ha optado por presentar la petrología y mineralogía en relación con las principales zonas definidas para el Mioceno respecto a su configuración de facies concéntrica, previamente ya comentada (zonas de borde, de transición y de centro de cuenca durante la etapa endorreica de la cuenca). En los siguientes apartados se presta una especial atención a los estudios sobre los minerales de la arcilla dado que serán objeto de un estudio detallado en el capítulo 7.

Huertas *et al.* (1971) realizaron la primera síntesis sobre la distribución de las arcillas en la Cuenca del Tajo, comparando los resultados con las secuencias obtenidas en otras cuencas terciarias españolas. Estos autores consideran que en las facies detríticas de borde de cuenca además de cuarzo y feldespatos los minerales mayoritarios son las arcillas. Estas tienen diferentes orígenes, siendo heredadas (caolinita, micas y clorita) en las zonas más proximales, y neoformadas (paligorskita y esmectitas dioctaédricas) en las distales. En la parte central de la cuenca describen arcillas neoformadas con elevado contenido en magnesio (saponita, hectorita y sepiolita). Atribuyen esta variación al cambio en la relación Al/Mg que pasa de valores altos (fases aluminicas) en los bordes de la cuenca a valores bajos (fases enriquecidas en magnesio) en el centro de esta. Posteriormente se han realizado diversos trabajos tanto de detalle como de síntesis sobre las arcillas de la cuenca aunque con especial insistencia en los fibrosos (sepiolita y paligorskita), las bentonitas y las esmectitas trioctaédricas (Leguey y Doval, 1987; Pozo Rodríguez *et al.*, 1996, 2001; García Romero *et al.*, 2004, entre otros).

2.4.2.1- Mineralogía de las Zonas de Borde de Cuenca

En las zonas de borde, en las que predominan las facies detríticas, son abundantes los estudios al Sur, Norte y Este de la cuenca, quedando peor caracterizadas las zonas más occidentales de la misma.

En zonas distales de abanicos aluviales del Norte de la cuenca los materiales miocenos presentan ciertas diferencias mineralógicas que han sido descritas por Domínguez Díaz (1985) y Doval *et al.* (1985b). Estos autores atribuyen estas diferencias a la diversidad de áreas fuente de los abanicos. Las series con mayor carácter micáceo (Facies Guadalajara) se relacionan con las áreas metamórficas de Somosierra (Sistema Central) y el resto tendrían influencia de los materiales ígneos (Facies Madrid) de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central). Estos autores, observan que en las áreas de mayor influencia granítica predomina la esmectita sobre la illita, mientras que en los sectores de mayor influencia metamórfica la illita supera a la esmectita. Describen cantidades pequeñas de caolinita y niveles enriquecidos en sepiolita. Consideran que los feldespatos, el cuarzo, la caolinita y las micas son heredados y que las esmectitas dioctaédricas son producidas por la transformación de micas y plagioclasas en el área fuente; mientras que, las esmectitas trioctaédricas se formarían por neoformación en la cuenca, en presencia de elevadas cantidades de magnesio, a través de la transformación de esmectitas dioctaédricas. Por último, consideran que la sepiolita se produciría por precipitación química o por transformación de esmectitas. Señalan evidencias de procesos diagenéticos como la presencia de zeolitas. También en la zona Norte de la cuenca se han descrito procesos de silicificación (Bustillo *et al.*, 2002). Los carbonatos paleógenos (Nordeste de la cuenca) se asocian a sucesivos procesos lacustres regresivos, pedogénesis y diagénesis temprana, con una litología de calizas bioclásticas, lodos carbonatados (dolomíticas y calcíticas) y calizas con laminaciones microbianas y cherts, que incluyen nodulización, brechificación, formación de cristales de yeso, etc. Son comunes los procesos de dolomitización y silicificación, durante la diagénesis temprana, mediante la formación de cherts (de composición ópalo CT o cuarzo/moganita) favorecidos por la actividad bacteriana en las zonas litorales de los lagos (Bustillo *et al.*, 2002).

La mineralogía de los materiales neógenos del sector centro-occidental de la cuenca de Madrid, en el área de Parla-Griñón-Carranque, ha sido caracterizada a partir del estudio de sondeos profundos (Domínguez Díaz, 1994; Domínguez Díaz *et al.*, 1996, 1997). En los tres trabajos citados se describen las diferentes paragénesis minerales de las principales unidades miocenas que hay en esa área y se sacan conclusiones sobre los posibles procesos genéticos que afectaron a los minerales de la arcilla. La primera etapa de evolución corresponde a la sedimentación de la Unidad de Yesos, con yesos microcristalinos y pequeños niveles de lutitas y arenas micáceas, y localmente glauberita y thenardita, con una asociación de minerales de la arcilla formada por illita y menores contenidos de esmectita, paligorskita, clorita e interestratificados I/Sm y Cl/Sm. El origen de esta asociación se ha interpretado como una mezcla de arcillas detríticas (illita y esmectita) y neoformadas o transformadas (paligorskita, clorita, illita e interestratificados), observándose procesos de illitización (Domínguez Díaz *et al.*, 1997). La segunda etapa es la correspondiente a la sedimentación de la Unidad de Arcillas Verdes, compuesta por lutitas verdosas con

intercalaciones de carbonatos dolomíticos, arcillas rosadas y silicificaciones, observándose un aumento del aporte de detríticos (principalmente arenas micáceas) y una evolución hacia condiciones de menor salinidad (Domínguez Díaz *et al.*, 1997). El ambiente que infieren estos autores, un *mudflat* exterior al núcleo evaporítico, esta muy enriquecido en magnesio y los minerales característicos son la saponita y la estevensita, con menor proporción de interestratificados Cl/Sm. Se propone un origen para esta asociación causado por la reacción entre las partículas arcillosas detríticas y los cationes del medio, mayoritariamente Si y Mg. Posteriormente, la progradación de facies detríticas sobre las unidades anteriores genera la Unidad de Arcosas, la más superficial y perteneciente a las Facies Madrid, que en los sectores citados esta compuesta por arenas feldespáticas poco cementadas con intercalaciones de niveles limosos y arcillosos (Domínguez Díaz *et al.*, 1996). Según estos autores los filosilicatos suponen entre un 85 y un 90% en los niveles arcillosos y unos 45-55% en los más arenosos, con presencia de dolomita y analcima en algunos niveles de la serie. Los minerales de la arcilla mayoritarios son las esmectitas dioctaédricas, illita y caolinita (menos de 10%), con indicios de sepiolita, clorita e interestratificados I/Sm y Cl/Sm producidos por procesos de alteración y transformación de las biotitas, moscovitas y feldespatos del área fuente granítica, procesos que, según estos autores, se habrían producido en condiciones ambientales con una corta estación húmeda y una larga estación seca con fuerte evaporación (Domínguez Díaz *et al.*, 1996).

Ordóñez *et al.* (1977) describieron sucesiones al Sur de la Cuenca, que en las facies detríticas son predominantemente cuarzo-feldespáticas con cementos carbonatados y presencia de paligorskita, esmectitas y cristobalita. Pozo Rodríguez *et al.* (1986) indicaron que en estas zonas del Sur, las arcillas de la Unidad Intermedia son mayoritariamente esmectitas, seguidas de illita y trazas de caolinita. Consideran como heredados las micas, cuarzo, feldespatos, caolinita y beidellitas, a partir de las cuales, en condiciones de más aridez, que generan subida de aguas intersticiales, se formarían las fases saponíticas. Las importantes concentraciones de fibrosos de la arcilla (sepiolita y paligorskita) que aparecen en las facies arcóscicas de la Unidad Intermedia fueron descritas por Galán y Castillo (1984), indicando para su formación ambientes continentales favorables como las zonas palustres y lacustres alcalinas. Las arcillas bentoníticas asociadas a las arcosas del Norte de Toledo, encuadradas en la base de la Unidad Intermedia del Mioceno, están constituidas por más de un 70% de esmectita, caracterizada como saponita, y cantidades menores de illita y sepiolita (Pozo Rodríguez *et al.*, 1991). Estos autores diferencian tres episodios sedimentarios para estas bentonitas, interpretando como minerales autigénicos la saponita, producida por transformación de esmectitas aluminicas heredadas o por neoformación en diagénesis temprana, y la sepiolita, generada sobre la saponita por cambios bruscos de salinidad y alcalinidad del medio. Los minerales heredados serían illita, esmectitas dioctaédricas, caolinita y clorita.

2.4.2.2- Mineralogía de las Zonas de Transición

Las denominadas facies de transición, en la zona Sur, desarrolladas entre las facies detríticas de borde y las evaporíticas del centro de la Unidad Intermedia del Mioceno, se componen de lutitas con esmectitas trioctaédricas de baja cristalinidad y pequeñas proporciones de illita, cuarzo y feldespatos (Calvo *et al.*, 1984). Por encima de estas se

distinguen lutitas verdes con esmectitas e illitas predominantes. Por último, se distinguen niveles de arcillas rosadas con esmectitas trioctaédricas e intercalaciones de sílex y lutitas rojas, por encima de las cuales se depositaron carbonatos tableados con nódulos de yeso e intercalaciones de dolomitas con cemento calcítico y ocasionales procesos de dedolomitización (Calvo *et al.*, 1984).

Los niveles de arenas verdes micáceas de estas áreas de transición de la Unidad Intermedia del Mioceno, al Sur y Este de la cuenca, se relacionan con la transición entre las arcosas de los abanicos aluviales y los depósitos carbonatado-lutíticos de centro de cuenca (Lomoschitz *et al.*, 1985). Estos autores indican que las arenas micáceas, con contenidos en micas que incluso superan el 60% de los granos, son indicativos de que estas facies son derivadas de los depósitos de arcosas más proximales, y que al Este se habrían producido por procesos tipo *sheet flood*, mientras que al Sur estarían asociados a procesos de relleno de canal y deltas de escaso desarrollo. El estudio granulométrico de estas arenas, teniendo en cuenta las características hidrodinámicas de las micas, revelan un flujo de baja viscosidad con gran parte de los granos transportados por saltación y suspensión (Lomoschitz *et al.*, 1985).

Según Bustillo (1976) en la zona noroccidental de la cuenca las rocas silíceas asociadas a las facies de transición son ópalos C-T neoformados en un medio cerrado y con aportes de disoluciones silíceas desde el área fuente. Un área que contiene importantes procesos de silicificación es la zona de Paracuellos del Jarama, que además contiene varios yacimientos paleontológicos que facilitan la datación de los diversos materiales formados en el área. Esta área ha sufrido procesos edáficos y diagenéticos (Bustillo y Alonso-Zarza, 2003). Las láminas de carbonatos edáficos y sepiolitas, de las zonas distales de abanicos aluviales, se alteran y transforman durante los procesos de silicificación, para finalmente quedar modificados por procesos de dolomitización, con formación de dolomitas esferoidales. El proceso de silicificación ha sido principalmente de reemplazamiento pseudomórfico de las sepiolitas y los carbonatos formando ópalo, que localmente al envejecer ha generado cuarzo (Bustillo y Alonso-Zarza, 2007), aunque el cuarzo también se ha producido por cementación. En ambientes áridos la sepiolita y la sílice son estables bajo condiciones geoquímicas similares, por lo que la sílice proveniente de la descomposición de las sepiolitas formaría las silicificaciones y el magnesio liberado daría lugar a los posteriores procesos de dolomitización, en ambientes freáticos someros o vadosos (Bustillo y Alonso-Zarza, 2003, 2007). Se habrían sucedido una serie de etapas de alteración de la mineralogía original, como consecuencia principalmente de variaciones en la altura de las masas de agua subterráneas y por lo tanto el contacto entre zona vadosa y freática, y por variaciones en el pH y la salinidad de los lagos y suelos de esta área. Otras silicificaciones en esta área se han interpretado como productos de reemplazamiento de lutitas depositadas en los márgenes de lagos salinos y con frecuente exposición subaérea (Pérez-Jiménez, 2010).

2.4.2.3- Mineralogía de las Zonas de Centro de Cuenca

En el Centro-Sur de la cuenca, donde predomina la Unidad Salina, se han realizado multitud de investigaciones que caracterizan su mineralogía y definen diferentes unidades y subunidades sedimentarias (Megías *et al.*, 1982, 1983; Brell *et al.*, 1985). Estos autores

indican la existencia de facies evaporíticas y arcillosas, describiendo asociaciones complejas de carbonatos, sulfatos y cloruros, formadas por depósitos de anhidrita, glauberita, thenardita, polihalita, halita, dolomita y magnesita (Ordóñez *et al.*, 1977, 1991; García del Cura *et al.*, 1979). Según Ortí (1979) estas facies estarían relacionadas con ambientes de sedimentación en lagos someros y efímeros, mientras que Ordóñez *et al.* (1982 y 1983) proponen un ambiente de sedimentación en lago permanente para las facies centrales apoyándose en los resultados de un estudio isotópico ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$) de las evaporitas de estas facies.

Las facies evaporíticas en la zona Centro-Este presentan una sucesión, vista en el sondeo de Tielmes, formada por yesos y margas yesíferas con arcillas illíticas e indicios de caolinita, sepiolita y montmorillonita (Caramés *et al.*, 1973). García Santiago (1984) y Doval *et al.* (1985a) indican que los filosilicatos están presentes en forma de minerales transformados (illitas trioctaédricas) y minerales neoformados (esmeclitas magnésicas y sepiolita). De Santiago Buey *et al.* (2000) estudiaron los procesos genéticos de las arcillas altamente magnésicas de las facies centrales de la cuenca, interpretando su formación como un proceso de transformación de arcillas aluminicas a arcillas ricas en Mg, precursoras de las arcillas altamente magnésicas. Para este proceso se requieren altas concentraciones de Mg y unas relaciones Mg/Si muy concretas, que siguen aún generando cierta controversia científica.

Nuevos sondeos en las zonas marginales de la Unidad Salina al Sur y Este de la cuenca (Calvo y García Yagüe, 1985) permitieron describir alternancias de yesos, lutitas y margas magnésicas, con intercalaciones de arcillas verdes esmeclíticas con illita y caolinita subordinadas. Todos estos materiales están acompañados de sales sódicas (esencialmente glauberita, thenardita, halita y polihalita; García del Cura *et al.*, 1986). Las arcillas verdes de las facies centrales de la Unidad Intermedia, en la zona Sur, fueron caracterizadas como esmeclitas mayoritariamente saponíticas con pequeñas cantidades de cuarzo y feldespatos (García Romero, 1988). El estudio de las facies con arcillas especiales (fibrosos, kerolita y bentonitas) en algunas zonas del Sur de la cuenca de Madrid (Norte de Toledo) ha permitido definir tres zonas (Cabañas de la Sagra-Yuncillos, Villaluenga-Magán y Yuncos) en las que la abundancia, pureza y calidad de las arcillas magnésicas (bentonitas verdes y rosas con esmeclitas trioctaédricas y niveles de sepiolita) las hace económicamente muy rentables (Galán *et al.*, 1986; García Romero *et al.*, 1990; Pozo Rodríguez *et al.*, 1999a, 1999b, 2001). Además del interés económico y de las propiedades tecnológicas (Cuevas *et al.*, 1993, 1994) de estas bentonitas son interesantes las inferencias paleoambientales que se han realizado a partir de ellas, indicando un ambiente lacustre-palustre de llanura lutítica (*mud-flat*) con desarrollo de paleovertisoles y paleosuelos de sepiolita relacionados con secuencias de somerización (Pozo Rodríguez *et al.*, 1992). En estas zonas al Sur (por ejemplo Esquivias), donde los fibrosos se asocian a lutitas carbonatadas y encostramientos en sedimentos superficiales, la sepiolita se formó a partir de fases precursoras (interestratificados kerolita/estevensita) y la paligorskita a partir de esmeclita dioctaédrica (Martín de Vidales *et al.*, 1988, 1991; Bustillo y García Romero, 2003). Además, hay autores que indican la existencia de procesos diagenéticos que afectan a las arcillas de la zona sur (por ejemplo en la región de La Sagra, García Romero, 1988). Estos procesos diagenéticos conllevarían, entre otras transformaciones, el paso de

esmetitas a illitas (illitización), observada por ejemplo en las bentonitas de Cerro del Águila (De Santiago Buey *et al.*, 1998).

Los ricos yacimientos de sepiolita del Este de la cuenca (por ejemplo Vicálvaro) han sido caracterizados mineralógicamente, mostrando un contenido elevado de filosilicatos ($\approx 80\%$) con predominio de la sepiolita seguida de esmetita e illita, con trazas de caolinita (Leguey *et al.*, 1989). Estos autores observan una correlación negativa entre la sepiolita y el par Illita-esmetita. Bustillo y Capitán (1990) estudiaron los niveles silíceos y arcillosos intercalados con las arcosas de la Unidad Intermedia en Vicálvaro. Describen un ambiente de transición entre facies distales de abanicos y lagos que sufrían variaciones en el espesor de la lámina de agua por alternancia de periodos secos y otros más húmedos. Consideran que en el paso de una etapa húmeda a otra seca es cuando se produce la alcalinización del agua con enriquecimiento en sílice y magnesio favoreciéndose la precipitación de sepiolita y ópalo inorgánico. Cuevas *et al.* (2003) completaron los estudios anteriores sobre estos yacimientos y realizaron la caracterización geoquímica de las esmetitas magnésicas asociadas a la sepiolita. En la Zona Oriental de la cuenca las rocas silíceas son principalmente cuarzos alfa, con un origen debido a la silicificación durante procesos diagenéticos relacionados con las variaciones del nivel freático y la circulación de aguas (Bustillo, 1976). Sin embargo el área de Vicálvaro presenta algunas de las secuencias silico-arcillosas mejor estudiadas en la zona y en ella las rocas silíceas son ópalos CT. Según Bustillo y Bustillo (1994) se produciría una secuencia rítmica de arcillas (esmetitas y sepiolitas) y rocas silíceas (ópalo CT principalmente). Así, por encima de los niveles de esmetitas se depositarían los niveles de sepiolita y ópalo formados en ambientes freático y vadoso, con unas condiciones deducidas de moderada acidez y oxidación, con gran concentración de sílice y magnesio (Bustillo y Bustillo, 1994).

El área de los yacimientos paleontológicos y mineralógicos del Cerro de los Batallones está formada por una secuencia de materiales de unos 20 m de potencia. Se han diferenciado tres unidades de base a techo, con variaciones en el tipo de minerales de la arcilla, así como en el contenido en detríticos y carbonatos (Pozo Rodríguez *et al.*, 2004, 2007). En la base predominan esmetitas magnésicas (bentonitas verdes), por encima hay un potente paquete de sepiolita asociado a paleosuelos (Pozo Rodríguez *et al.*, 2003) que hacia techo se enriquece en calcita, ópalo y paligorskita neoformada, y finalmente se disponen materiales detríticos y carbonatados (calcretas) con esporádicas silicificaciones, que en contacto con la unidad sepiolítica anterior, presentan arcillas esmetíticas dioctáedricas e illita. Esta transición entre arcillas tan diferentes, presentes en las facies sepiolíticas y carbonatadas, se ha interpretado como una variación en la geoquímica formadora de minerales pasando de una fase con prevalencia de la sílice (estabilidad de sepiolita y ópalo) en ambientes de margen lacustre o palustres y clima árido, a otra con influencia de aguas bicarbonatadas cálcicas y aportes de coloides aluminicos en ambientes lacustres de agua dulce (paligorskita, carbonatos y llegada de materiales heredados, Pozo Rodríguez *et al.*, 2004; 2007; 2008). La ruptura entre las dos unidades se produce a través de facies terrígenas de granulometría y contenido de filosilicatos variable (45-85%) que mediante contacto erosivo se disponen sobre los paleosuelos carbonatado-sepiolíticos (Pozo Rodríguez *et al.*, 2008). Mientras que las sepiolitas de Batallones tendrían un origen asociado a condiciones palustres, otras (Vicálvaro o Cabañas de la Sagra) estarían ligadas a facies distales de abanicos aluviales (Galán y Castillo, 1984). Los propios yacimientos de

vertebrados aparecen en una cuarta unidad muy similar a la tercera unidad y permiten datar esa unidad como Vallesiense superior (Morales *et al.*, 1992). Esta “cuarta unidad” presenta la morfología de rellenos de huecos irregulares, parecidos a los producidos en ambientes cársticos. Está formada por materiales clásticos finos y gruesos producidos por arroyadas esporádicas y procesos gravitacionales, mientras que los niveles carbonatados responderían a procesos de precipitación de micrita en las charcas formadas en cada cavidad (Pozo Rodríguez *et al.*, 2004). La formación de estos yacimientos respondería a procesos de tipo “*piping*” acaecidos en un momento de cambio en la cuenca de Madrid, durante el paso de la unidad Intermedia a la Superior en el Mioceno Superior (Calvo *et al.*, 1989b).

En el área Sur de la cuenca (cerca de Esquivias-La Sagra; Pozo Rodríguez y López, 2004) aparecen algunas de las zonas mejor estudiadas desde el punto de vista de la génesis de mineralizaciones silíceas tanto relacionadas con las arcillas como las que no guardan relación. Los primeros estudios en este ámbito se recogen en Bustillo (1984), y estudios posteriores muestran el carácter continental de las diatomitas (Calvo *et al.*, 1988) asociadas a zonas con arcillas magnésicas y fibrosos de la arcilla (Leguey *et al.*, 1985; Pozo Rodríguez *et al.*, 1985; Pozo Rodríguez, 2003), carbonatos diatomíticos y a niveles de ópalo (Bustillo y Bustillo, 1988; Calvo *et al.*, 1991b). Se ha asignado una edad miocena para estos sedimentos diatomíticos y se considera que se formaron en ambientes lacustres someros (menos de 2 m de profundidad, Pozo Rodríguez y López, 2004), con salinidad moderada y alcalinidad variable (Calvo *et al.*, 1988). El origen de estas facies biosilíceas se ha relacionado con la descomposición de los fibrosos de la arcilla por un aumento de las precipitaciones y la liberación al medio de sílice y magnesio, con la consecuente proliferación de organismos de conchas silíceas (Pozo Rodríguez y López, 2004). La estratigrafía y mineralogía del área fueron descritas por Bellanca *et al.* (1992), y posteriormente se han encontrado niveles equivalentes más al Norte, en el área del Cerro de los Batallones (Pozo Rodríguez *et al.*, 2003).

En cuanto a las rocas silíceas opalinas, de la zona Sur (Esquivias y alrededores), se les han asignado dos orígenes diferentes, unas inorgánicas y otras orgánicas, producidas por procesos genéticos de desestabilización y/o neoformación de minerales de la arcilla (Bustillo y Bustillo, 1988). Las silcretas, al igual que las calcretas, son típicas de cuencas continentales cerradas en climas semiáridos y sus características macro y micro-morfológicas, así como sus variaciones composicionales (elementos menores y traza) dan idea de los procesos generadores de dichas capas endurecidas, mediante secuencias de pedogénesis, procesos vadosos y procesos freáticos bajo lámina de agua subterránea (Bustillo *et al.*, 2013). La secuencia que se ha observado en la zona Sur de la cuenca comienza con la formación de un entramado de carbonatos laminares, que incluye microestructuras alveolares-septales y de calcitas aciculares-fibrosas, asociadas a procesos biogénicos por raíces y microorganismos. Posteriormente en la fase pedogénica-vadosa se forman silcretas con glóbulos opalinos y rizolitos silíceos, aunque los procesos de calcitización y silicificación se van alternando. Finalmente en la etapa freática se promueve la silicificación que da lugar a otro conjunto de texturas (Bustillo *et al.*, 2013).

2.4.3- Mineralogía de los Suelos de la Cuenca de Madrid

El desarrollo y los tipos de suelos han variado a lo largo de la historia geológica de la cuenca de Madrid y el estudio de las características mineralógicas y petrológicas que indiquen la acción y el tipo de suelos en periodos geológicos pasados puede ser una forma de obtener información paleoambiental y paleoclimática, de allí el interés que tienen el conocimiento de los tipos de suelos que se forman sobre las diferentes litologías del área fuente y de esta cuenca.

Tanto sobre las alteritas que se originan a partir de las rocas del área fuente como sobre los sedimentos del interior de la cuenca se producen procesos edafogénicos que dan lugar a la formación de diferentes tipos de suelos. En la cuenca de Madrid no solo confluyen los sedimentos procedentes de muy diferentes litologías sino que éstas están sometidas a diferentes ambientes de alteración en función del clima, la vegetación y el relieve, entre otros factores condicionantes de la edafogénesis de cada zona. Así las precipitaciones varían entre los 1000 mm/año de algunos puntos de la sierra hasta los 350-400 mm/año en algunas zonas del sur de la cuenca. Por otra parte la vegetación es diferente a lo largo de la cuenca, encontrándose pinares e incluso relictos de hayedos en la sierra, mientras que en el Sur aparecen estepas de esparto (Rivas Martínez, 1982; Fernández González *et al.*, 2001). Diversos autores han realizado estudios mineralógicos como base del análisis de los suelos de la cuenca de Madrid (Hoyos de Castro y González Parra, 1969; Hoyos de Castro *et al.*, 1979; Pérez Mateos y Vaudour, 1971; Alcalá del Olmo *et al.*, 1979; Aleixandre *et al.*, 1981; Barba *et al.*, 1993, 1995; Hernando y Hernando, 1999).

Dada la complejidad de combinaciones que se pueden generar, teniendo en cuenta los factores antes nombrados, en la cuenca de Madrid, se han descrito muy diferentes suelos, desde los cambisoles desarrollados sobre esquistos y granitos hasta regosoles gypsicos sobre evaporitas de Centro-Sur de la cuenca, pasando por los arenosoles desarrollados sobre sedimentos arcósicos de borde de cuenca (Hernando y Hernando, 1999).

De forma resumida se podría decir que los suelos desarrollados sobre granitoides, gneises y esquistos, en el área Norte de la cuenca están formados por cuarzo, feldespatos, moscovita y biotita, con pocos minerales densos, siendo la biotita mayoritaria en la fracción densa de los suelos influenciados por granitoides y los minerales metamórficos en los influenciados por esquistos y micacitas, abundando en la fracción arcillosa las illitas y caolinitas con menores cantidades de vermiculitas (Hernando y Hernando, 1999). En el área Oeste-Suroeste de la cuenca predominan los suelos sobre materiales arcósicos, en los que abundan los mismos minerales antes citados aunque la fracción arcillosa es más abundante y se desarrollan fases esmectíticas (principalmente montmorillonitas) y la fase densa presenta apatito, turmalina, rutilo y circón, entre otros minerales. En algunas áreas del Norte de la cuenca, donde predominan las pizarras, a los minerales anteriores hay que añadir la presencia de clorita (Hernando y Hernando, 1999). Sobre los pocos afloramientos de calizas cretácicas que hay al Norte de la cuenca se han desarrollado suelos ricos en calcita, aunque con contenidos significativos de cuarzo y feldespatos. Los suelos desarrollados sobre materiales conglomeráticos y calcáreos de las zonas Este y Sureste son ricos en calcita, cuarzo y feldespatos, menos en las zonas desarrolladas sobre suelos

yesíferos, en los que el yeso es la fase principal junto con los minerales antes señalados (Hernando y Hernando, 1999). En estas últimas, la fase densa esta formada principalmente por minerales metamórficos y calcita algo ferruginizada. El Centro-Sur de la cuenca es principalmente evaporítica por lo que los suelos que sobre ella se desarrollan tienen como mineral primario el yeso y los detríticos (cuarzo y feldespatos) que les llegan por transporte desde el área de borde.

2.5- Características Paleontológicas

El estudio paleontológico de la Cuenca del Tajo se inició a principios del siglo XIX (Ezquerro del Bayo, 1837; Prado, 1864) y se intensificó desde mediados de ese siglo, con trabajos publicados sobre los restos de vertebrados encontrados en el Cerro de San Isidro, Puente de Vallecas, Cerro de la Plata y Puente de Toledo, Cerro de las ánimas, entre otros. Las aportaciones más importantes de comienzos del siglo XX se deben a Hernández Pacheco (1921; 1926), Royo Gómez (1928), Royo Gómez y Menéndez Punget (1929), Crusafont y Villalta (1947), Bergonioux y Crouzel (1958) y Crusafont y Truyols (1960). Pero es desde los años sesenta cuando se descubren nuevos yacimientos y se mejoran los métodos de obtención de datos, lo que mejora notablemente el conocimiento bioestratigráfico de la Cuenca del Tajo (Hernández Pacheco *et al.*, 1969; Pérez González, 1971; Crusafont y Golpe, 1971; Mazo y Alberdi, 1974; Aguirre *et al.*, 1976; Mazo, 1976; Alberdi *et al.*, 1981; Aguirre *et al.*, 1982; Herraiz, 1982; Herraiz y Alberdi, 1983). En el marco del proyecto “Estudio Geológico y Paleontológico del Terciario Continental de la Provincia de Madrid” se estudian nuevos yacimientos y se realizan revisiones de los antiguos yacimientos que continuaron hasta la década de los 2000 (Alfárez *et al.*, 1982; Alberdi *et al.*, 1984; Calvo *et al.*, 1986; López-Martínez *et al.*, 1987; Herraiz, 1993; Sesé, 1994; Mazo, 1995; Diéguez *et al.*, 1993; Morales *et al.*, 1993; Sánchez *et al.*, 1998; entre otros muchos). Se puede ver un resumen de esta etapa de la paleontología madrileña en el monográfico “Patrimonio Paleontológico de la Comunidad de Madrid” (Morales *et al.*, Coord., 2000). Finalmente, es en la década de los 2000 y en la actualidad cuando se están realizando mejoras en las descripciones de la mayoría de los yacimientos madrileños y se realizan trabajos aplicados a bioestratigrafía, paleontología evolutiva, tafonomía, paleobiogeografía y al análisis paleoambiental y paleoclimático. Entre otros son muy activos en campañas de excavación y en producción científica los yacimientos de Pinilla del Valle (Bochenski, 2007; Álvarez-Lao *et al.*, 2013, entre otros); Batallones (Morales *et al.*, 2008; Domingo *et al.*, 2011, entre otros) y Somosaguas (Hernández Fernández *et al.*, 2006; Fesharaki *et al.*, 2012 y citas interiores).

2.5.1- Paleontología de Invertebrados y Paleobotánica

En la zona Sur de la hoja cartográfica de Madrid, se han descrito niveles lutíticos entre yesos tableados que contienen restos de foraminíferos del género *Elphidium*. Este hecho que *a priori* rebatiría el funcionamiento de la cuenca de Madrid como una cuenca endorreica durante el Mioceno medio, ha sido explicado por el carácter eurioico (alta adaptabilidad) de este género que podría haberse adaptado a condiciones muy salinas como las registradas en los lagos madrileños del Mioceno medio (Calvo y Pérez González, 2004). También en la zona Sur (Esquivias) se han encontrado quistes de crisófitas, espículas de

esponjas y bioclastos calcáreos (gasterópodos, ostrácodos, bivalvos y carofitas) asociados a diatomeas, indicando ambiente lacustre poco profundo (Pozo Rodríguez y López, 2004). Otras zonas de la cuenca relacionadas con ambientes lacustres también han proporcionado contenido paleontológico de invertebrados, lo que indica que eran comunes durante el Mioceno, y agranda la incógnita de la falta de restos paleontológicos en algunos niveles indicados como lacustres en el área Oeste de la cuenca (principalmente en el área de estudio de esta tesis).

En la Cuenca de Madrid se han descrito materiales sedimentarios de diferentes edades con contenido fósil de flora (Diéguez *et al.*, 1993; Álvarez Ramis y Fernández Marrón, 1996; Álvarez Ramis, 1999). Hasta el momento se han descubierto varios yacimientos de flora de edad Cretácico superior siendo los más destacables los de Torrelaguna (Álvarez Ramis, 1980), Guadalix de la Sierra (Álvarez Ramis y Doubinger, 1994) y Soto del Real (Diéguez, 1986), que presentan vegetación herbácea, arbustiva y arbórea. En Torrelaguna (Diéguez *et al.*, 2000), de edad Cenomaniense, se ha inferido un área costera bajo un clima cálido y seco, en el que se han descrito tanto dinoflagelados, indicadores del ambiente marino, como vegetación continental. Esta última presenta principalmente coníferas (gimnospermas) de los géneros *Frenelopsis* y *Sphenolepis*, y angiospermas dicotiledóneas (*Cinnamomum*, *Dammarites*, *Eucaliptus*, *Emscheripollis*, *Tricolpites*, etc.). El yacimiento de Guadalix de la Sierra (Diéguez *et al.*, 2000) presenta mayor diversidad de restos y una gran abundancia de plantas con flores que estarían relacionadas con zonas cercanas a cursos de agua, mientras que los restos de *Frenelopsis* y algunas Taxodiáceas indicarían la cercanía a ambientes costeros. Finalmente, los restos encontrados en el yacimiento de Soto del Real (coniferales, cycadales, algunas angiospermas, etc.) son muy diversos y presentan ciertas especies poco comunes en España por lo que tienen un gran interés (Diéguez *et al.*, 2000). Según estos autores, representan ambientes bastante áridos o con una elevada salinidad, cercanos también a zonas litorales. Todos los datos paleobotánicos de estas áreas han permitido definir un clima con dos estaciones marcadas, siendo cálido y húmedo en invierno y extremadamente cálido y seco en verano. Los materiales que tienen edades comprendidas entre el Cretácico y Mioceno no presentan buenos afloramientos en la cuenca y no se han descrito restos de paleoflora hasta el momento.

En cuanto a los restos de flora del Mioceno, con motivo de la confección de la memoria del mapa geológico (Escala 1: 50.000) de la hoja de Madrid, Álvarez Ramis y colaboradores (1984, inédito), realizaron un análisis polínico de detalle de muestras obtenidas de sondeos realizados (Calvo y García Yagüe, 1985), que publicaron parcialmente (Álvarez Ramis y Fernández Marrón, 1984). Estas muestras, correspondientes a la Unidad Inferior del Mioceno medio, indicaban la presencia de gramíneas y sauces, exigentes con el agua, en áreas del Sur de la ciudad de Madrid y bosques de coníferas y caducifolios en áreas mas lejanas (Calvo y Pérez González, 2004). Las algas planctónicas encontradas y los pólenes de palmeras, junto con diversos rasgos edáficos, serían indicativas de un área lacustre con episodios de expansión/retracción y aguas saladas (Álvarez Ramis y Fernández Marrón, 1984). En cambio, las muestras mucho más diversas, correspondientes a la Unidad Intermedia del Mioceno medio, encontradas en seis yacimientos del área de Parla-Arroyo Culebro (Fernández Marrón *et al.*, 2002; Fernández Marrón *et al.*, 2004; Fernández Marrón y Hably, 2005), dibujarían un paisaje escalonado, formado por bosques de Pináceas, *Ficus*, *Fagus*, *Ilex*, etc. en las zonas montañosas,

pasando a bosques bajos y praderas adaptadas a la xericidad (gramíneas y leguminosas) sobre los abanicos aluviales, y bosques galería y especies ripícolas cerca del área palustre y lacustre que estaría más hacia centro de la cuenca (*Populus*, *Carya*, *Alnus*, *Taxodium*; Fernández Marrón *et al.*, 2004; Fernández Marrón y Hably, 2005). Los restos de macroflora con hojas pequeñas y coriáceas indican unas condiciones generales de clima árido (Fernández Marrón *et al.*, 2004). Además, la elevada presencia de Pináceas y su diversidad son indicativas de clima continental semiárido a árido con pocas precipitaciones (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1971; Fernández Marrón *et al.*, 2004). Las algas de agua dulce en las zonas lacustres, resaltan el carácter menos salino de la Unidad Intermedia con respecto a la Inferior, lo que también se ha observado en la variación mineralógica (desaparición de las sales sódicas y disminución de las magnésicas al pasar de la Unidad Inferior a la Intermedia). Estos estudios ponen de manifiesto un ambiente semiárido en clima subtropical con estacionalidad hídrica marcada, y largos periodos de sequedad, que han sido igualmente caracterizados mediante flora de diversas partes de Europa para el Mioceno medio (Jiménez-Moreno y Suc, 2007).

Finalmente, el Cuaternario ha proporcionado varios yacimientos de flora dispersos por la cuenca de Madrid que permiten una buena caracterización de sus asociaciones y su evolución a lo largo del tiempo (por ejemplo Ruiz-Zapata *et al.*, 2011).

2.5.2- Paleontología de Vertebrados

A pesar de su gran espesor en la cuenca de Madrid, el Paleógeno tiene poca representación en afloramientos y por lo tanto en contenido fósil, existiendo solo algunas citas referentes a yacimientos de esta edad como los de Espinosa de Henares, Huérmeces del Cerro o Sayatón 1 (Crusafont *et al.*, 1962; Morales *et al.*, 1982-1984; Álvarez-Sierra *et al.*, 1996).

Dentro del Neógeno, es el Mioceno el periodo temporal que mayor número de yacimientos y restos ha proporcionado hasta el momento. Para el Neógeno se han propuesto escalas temporales más acordes a los fósiles en ambientes continentales, ya que las escalas generales definidas con fauna marina son difíciles de extrapolar con exactitud a zonas continentales. Entre estas escalas las más usadas actualmente son las zonas MN (Mammal Neogene) definidas para Europa por Mein (1975), y las de los pisos continentales y sus biozonas locales asociadas (Daams *et al.*, 1977, 1987, 1999). En la cuenca de Madrid tienen buena representación diferentes biozonas (C a G, principalmente D, E y F) y pisos continentales, aunque destaca el Aragoniense (definido por Daams *et al.*, 1977) por encima de los demás. Este piso continental se ha limitado en su base con la primera aparición de *Anchitherium* y en su techo por el *Hipparion* (inicio del Vallesiense), ambos équidos abundantes en la fauna de Madrid (Daams *et al.*, 1977; Fraile *et al.*, 2000). Sin embargo, para un mejor ajuste a lo largo de la Península se optó por poner como límite inferior la aparición de cricétidos del género *Democricetodon* (Daams *et al.*, 1987). Estos autores realizaron una subdivisión del Aragoniense, asignando al Aragoniense inferior las biozonas B y C, al Aragoniense medio las biozonas D y E, y al Aragoniense superior las biozonas F y G. Dentro del Aragoniense es el Aragoniense medio (zonas locales D y E) la que presenta la mayor parte de los registros faunísticos de esta cuenca (Peláez-Campomanes *et al.*, 2000).

y por pertenecer a la biozona E los yacimientos estudiados en esta Tesis es la que desarrollaremos con más detalle (Luís y Hernando, 2000; Cárdena *et al.*, 2013).

Un hecho importante que influye de forma decisiva en las asociaciones de fauna de España y en concreto de la cuenca de Madrid es el pasillo de tierra formado en la parte oriental de Europa como respuesta al acercamiento de las placas africana y de Arabia a la Euroasiática hace unos 20 millones de años. Así, se produjo un importante proceso de renovación de faunas autóctonas con la llegada de los inmigrantes de Asia. Además, esta época registra varias variaciones del clima que condicionan la distribución biogeográfica de las especies (Pickford y Morales, 1994). Climáticamente este es un periodo cálido que presenta varias oscilaciones de la humedad (Fraile *et al.*, 2000), siendo más parecido a los climas con estacionalidad marcada actuales que a los climas previos al Mioceno con menor estacionalidad (Morales *et al.*, 1992). Estas variaciones son a escala global y se observan en los cambios faunísticos de todos los continentes. Por ejemplo, la llegada del équido *Anchitherium* desde Norteamérica a Eurasia marca el final del Mioceno inferior (Sánchez *et al.*, 1998) o la sustitución de los rumiantes inermes por los que presentaban apéndices craneales (cérvidos, paleomerícidos, bóvidos, etc.) y la llegada de mastodontes (Morales y Nieto, 1997).

Durante gran parte del Neógeno, las condiciones climáticas en la Península Ibérica se mantuvieron tropicales semiáridos (Van der Meulen y Daams, 1992; Van Dam y Weltje, 1999; López Guerrero, 2006; Hernández Fernández *et al.*, 2007; Jiménez- Moreno y Suc, 2007), sin embargo, hubo fluctuaciones que se ven reflejadas en las asociaciones de macro y microvertebrados registradas en la Cuenca de Madrid y otras cuencas cenozoicas de la Península (Cuevas-González, 2005b). La bioestratigrafía en función de las faunas de micromamíferos de la cuenca de Madrid ha sido recientemente revisada por Peláez-Campomanes *et al.* (2003) y Hernández-Ballarín *et al.* (2011), quienes han reconocido las mismas subdivisiones propuestas por Daams *et al.* (1999) para la cuenca de Calatayud-Montalbán, en base principalmente a las asociaciones de roedores. Las edades de estas biozonas asignadas en función de la aparición, desaparición y coexistencia de especies de roedores en la cuenca de Calatayud-Daroca y su asociación con dataciones magnetoestratigráficas puede ser consultada en Van der Meulen *et al.* (2012) y citas interiores. Para analizar los cambios paleoambientales y paleoclimáticos inferidos a partir de las faunas de la cuenca de Madrid durante el Aragoniense medio (época de la formación de los yacimientos objeto de estudio en esta tesis) se realiza a continuación una breve descripción de las características de la biozona E (Daams *et al.*, 1999) de esta cuenca, a partir de los datos procedentes del estudio de diferentes yacimientos.

Pertenecen a la biozona E (MN5, Aragoniense medio terminal) los yacimientos de Arroyo del Olivar, Puente de Vallecas, Casa Montero, El Cañaveral, Villaviciosa de Odón, Húmera, Móstoles 6, Somosaguas Norte y Somosaguas Sur, entre otros (Peláez-Campomanes *et al.*, 2003; López Olmedo *et al.*, 2004; Cuevas-González, 2005b; Hernández Fernández *et al.*, 2006; López Guerrero *et al.*, 2007; Mazo y Van der Made, 2012, y citas interiores; Cárdena *et al.*, 2013; Sesé y Jiménez Rodrigo, 2014). Como se puede ver, la mayoría de las citas que describen yacimientos de esta biozona son posteriores al año 2000, lo que indica la relativa actualidad de los conocimientos sobre esta biozona en la cuenca de Madrid. Las asociaciones de faunas indican un paleoambiente con

temperaturas cálidas generalizadas con ligeras variaciones de la humedad y fuerte estacionalidad. Los terrenos abiertos de vegetación dura semejantes a las sabanas predominaban sobre las zonas con mayor desarrollo de la vegetación y bosques tropicales decíduos cercanos a medios acuáticos someros y persistentes en el tiempo (Luís y Hernando, 2000; Mazo, 2000; Sánchez, 2000; Hernández Fernández *et al.*, 2003, entre otros muchos). Se ha observado una tendencia hacia la aridez, que no solo se ve en otras cuencas peninsulares como la de Calatayud-Daroca, sino que ha sido registrado en muchos puntos de la Tierra (Wolfe, 1985; Stein y Robert, 1986; Pascual y Ortiz-Jaureguizar, 1990; Van der Meulen y Daams, 1992; Retallack, 1992; Domingo *et al.*, 2012a), así como un enfriamiento globalizado (Zachos *et al.*, 2001; Böhme, 2003).

Desde el punto de vista estratigráfico es en la Unidad Intermedia (Aragoniense medio - Vallesiense inferior) donde se emplazan la mayor parte de los yacimientos miocenos descubiertos en la cuenca de Madrid. Actualmente se conocen unos treinta y cinco yacimientos en esta Unidad. Según la terminología de Antunes (1979) las faunas de esta Unidad se pueden dividir en aquellos que tienen *Hispanotherium* (rinoceronte característico de la fauna clásica del Mioceno de Madrid) y aquellos que no lo tienen.

Yacimientos con *Hispanotherium* (biozonas Dc y Dd): La distinción de estas dos subunidades dentro de la biozona D se hace en base a diferencias en las asociaciones de roedores (Peláez-Campomanes *et al.*, 2000). En la biozona Dc están incluidos yacimientos de mamíferos como el de San Isidro, Paseo de las Acacias, Moratines (Alberdi *et al.*, 1981), etc., mientras que la Dd ha proporcionado restos en los yacimientos de O'Donnell, Henares 2; Torrijos 1 y 2 y Mostoles 4 y 5 (Herraez, 1993; López Olmedo *et al.*, 2004). Del estudio de las asociaciones de fósiles de estos yacimientos se obtiene un mosaico de ambientes que van desde las condiciones secas con poca vegetación a los medios húmedos con cobertera vegetal, pasando por praderas húmedas (Soria *et al.*, 2000). Estos autores creen que en general se produjo un incremento de la aridez al final de la biozona D.

Yacimientos sin *Hispanotherium* (biozonas E, F y G): En la biozona E se sitúan los yacimientos de Puente de Vallecas, Arrollo del Olivar y los Yacimientos de Somosaguas y Húmera, entre otros. En todos estos yacimientos se observa el reemplazamiento del *Hispanotherium* por otros rinocerontes (*Alicornops*, *Prosantorhinus*, etc.) y se distingue un incremento de los antílopes y los cérvidos. Según Soria *et al.* (2000), los anteriores hechos indican que la biozona E tendría un ambiente de mayor humedad con una cobertera vegetal mas desarrollada que la D, sin embargo, Cuevas-González (2005b) sitúa en esta biozona un máximo de aridez (ver capítulo 3 para mayor detalle).

Capítulo 3

Antecedentes del Área de Somosaguas - Húmera

Los años enseñan muchas cosas que los días jamás llegan a conocer...
R. Waldo Emerson



Mural pintado en un muro al lado de la excavación de Somosaguas Norte que reproduce parte del paisaje de este área durante el Aragoniense medio (obra de Cristina Díaz de Rada sobre bocetos de Sergio Pérez González y Nieves López Martínez)

3.1- Introducción

Los yacimientos de Somosaguas se encuentran en el propio Campus que tiene la Universidad Complutense de Madrid en Somosaguas, perteneciente al municipio de Pozuelo de Alarcón (al Oeste del núcleo urbano de Madrid, Figura 1.2). El área en el que se encuentran los afloramientos en los que se han desarrollado los estudios de detalle de Somosaguas ocupa una extensión de unos 6500 m² y se extiende entre una cota mínima de 653 y una cota máxima de 675 m (Figura 3.1a). Por su parte, los yacimientos de Húmera están situados en un talud de la carretera M-508 en la rotonda de acceso a Húmera. Este yacimiento y sus alrededores han sido caracterizados entre una cota inferior de 656,4 y una superior de 660 m, comprendiendo un total de 4000 m² de extensión superficial. Se han estudiado con sumo detalle muestras recogidas en 6 afloramientos y 5 sondeos del área de Somosaguas y otros 2 afloramientos del área de Húmera, además de hacer el seguimiento de las litologías y el contenido paleontológico mediante una serie de catas (Figura 3.1b).

3.2- Características de los Yacimientos de Somosaguas

Desde el punto de vista geológico los materiales del área de Somosaguas están caracterizados en el mapa geológico MAGNA (hoja número 559, 2ª serie) como arcasas gruesas con cantos y arenas arcósicas (Calvo y Pérez González, 2004). El yacimiento de Somosaguas se encuentra en el área definida, en los clásicos modelos concéntricos de facies, como facies detríticas de zonas medio-distales de abanicos aluviales (Portero y Olivé, 1983; Hoyos *et al.*, 1985), aunque presenta algunas características más propias de las facies de transición como se explicará más adelante. Las zonas distales de estos abanicos estarían situadas a unos 10 km más al sureste de Somosaguas (Calvo y Pérez González, 2004). En cuanto a sus relaciones con el resto de la cuenca se engloba dentro de la denominada Unidad Intermedia del Mioceno de la cuenca de Madrid (Megías *et al.*, 1982, 1983; Alberdi *et al.*, 1983, 1984; Junco y Calvo, 1983; Calvo *et al.*, 1993a; ver capítulo 2).

Según la bibliografía existente sobre estos yacimientos, la estratigrafía de Somosaguas se compone de cuatro tramos aflorantes (de base a techo T1, T2, T3 y T4) más otros seis que se han descrito mediante la obtención de testigos continuos en varios sondeos (T0, T-1, T-2, T-3, T-4 y T-5) realizados en el área del yacimiento, y se han descrito hasta 6 litofacies diferentes en tres asociaciones de facies (AF) que se suceden en la secuencia estratigráfica (Mínguez Gandú, 2000; Cuevas-González, 2005a,b; Fesharaki, 2005; Díez-Canseco *et al.*, 2012; Alonso-Torres *et al.*, enviado).

A continuación se expone una descripción general desde el tramo inferior (T-5) al superior (T4) como resumen de los datos disponibles previamente a la presentación de esta Tesis Doctoral (Figuras 3.2 y 3.3). En el capítulo 4 se describen las características estratigráficas y sedimentológicas de detalle de cada uno de los niveles en que hemos dividido los tramos para su posterior estudio petrológico y mineralógico, y se define un nuevo tramo T5, se corrige la descripción y características del tramo T4 definido por Cuevas-González (2005b) y se propone un posible tramo T6 cuya asignación tendrá que ser concretada en futuros trabajos.

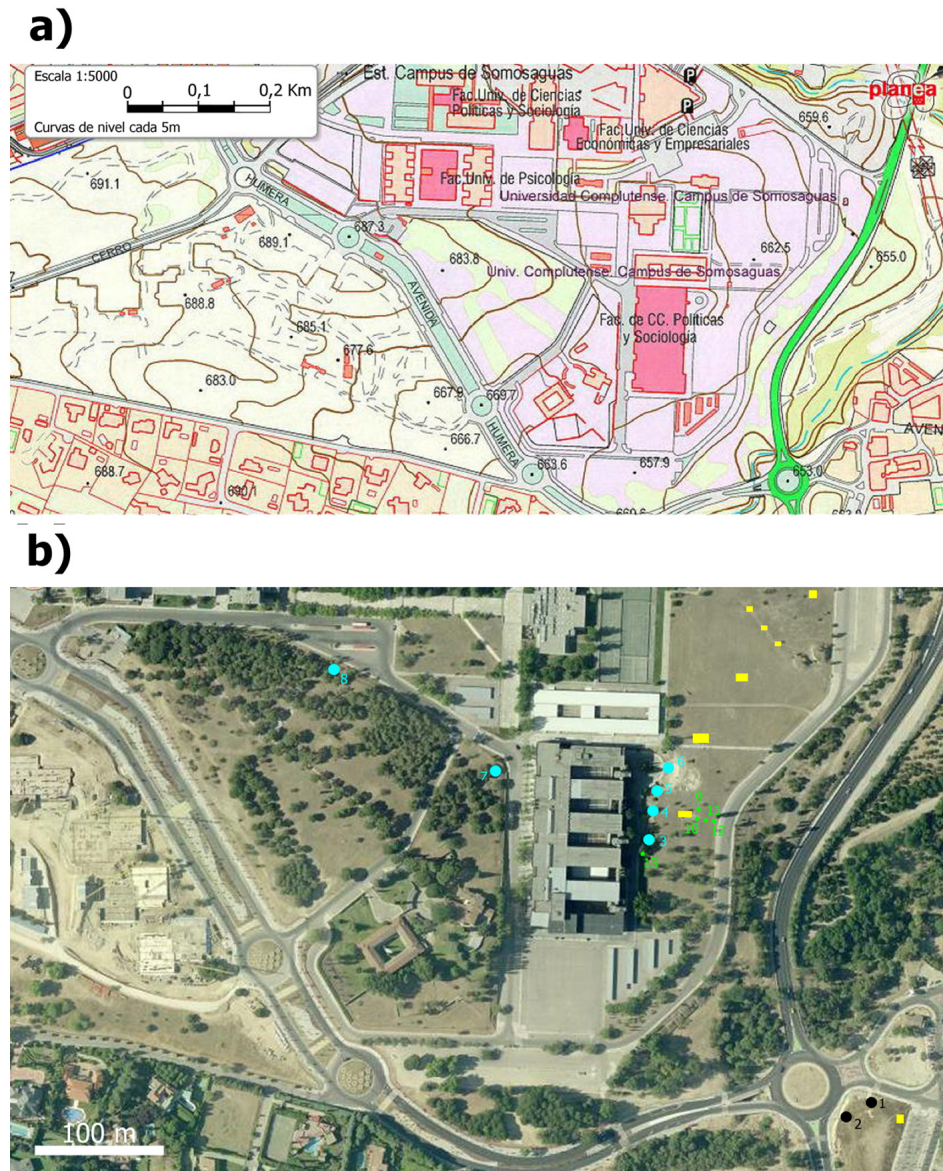


Figura 3.1- Mapas de detalle del área de estudio (Fuente: Web PLANEA, Madrid.org.): a) mapa topográfico 1:5000 del área de estudio; b) imagen aérea equivalente a la imagen anterior en la que se indican los diferentes puntos de muestreo (en negro Húmera; en verde sondeos y en azul afloramientos de Somosaguas) y catas de seguimiento (recuadros amarillos). 1- Húmera Norte; 2- Húmera Oeste; 3- Somosaguas Sur; 4- Somosaguas Tres; 5- Somosaguas Cuatro; 6- Somosaguas Norte; 7- Somosaguas Seis; 8- Somosaguas Siete; 9- Sondeo SN-1; 10- Sondeo SN-2; 11- Sondeo SN-3; 12- Sondeo SN-4; 13- Sondeo SN-5.

El tramo T-5 está formado por arenas arcósicas matriz-soportadas de tamaño arena fina a gruesa, con frecuentes gradaciones de tamaño, y superficies con precipitados de óxidos de hierro y cantos blandos (litofacies A, AF3, según clasificaciones de Alonso-Torres *et al.*, enviado). Según estos autores se interpreta como el resultado de flujos arenosos de diferentes intensidades y registro de algunos canales. Contiene fragmentos de fósiles de macrovertebrados.

El tramo T-4 está formado por una alternancia de niveles centimétricos de pelitas finamente laminares o masivas y arenas con alto contenido en micas, cuyo tamaño de grano disminuye hacia techo del tramo (litofacies F, AF2, según clasificaciones de Alonso-Torres *et al.*, enviado). Los fenómenos pedogenéticos son frecuentes en los niveles arenosos (huellas de raíces y superficies con precipitados de óxidos de hierro), así como los intraclastos y la bioturbación. Estos autores lo han interpretado como una alternancia de episodios de entrada de lóbulos de desembocadura de canales a un lago somero y procesos de decantación.

El tramo T-3 se compone de arenas y gravas arcósicas matriz-soportadas, con matriz mayoritariamente arenosa-aleurítica y muy mal seleccionadas. El tramo incluye cuatro litofacies diferentes (A, B, C y D, AF3, según clasificación de Alonso-Torres *et al.*, enviado). Con frecuencia se observan calcretas, superficies con precipitados de óxidos de hierro e intraclastos. En este tramo no se han observado restos paleontológicos. Según Alonso-Torres *et al.* (enviado) es el resultado de procesos de tipo *grain* o *debris flow* de diferentes intensidades y presencia de pequeños canales.

El tramo T-2 presenta areniscas y conglomerados arcósicos (Díez-Canseco *et al.*, 2012). Las litofacies presentes en el tramo son A, B, C y D, pertenecientes a la AF3, según los estudios de Alonso-Torres *et al.* (enviado). Presenta rasgos de alteración y abundantes huellas de raíces. Se han observado restos de fósiles de macrovertebrados. Se ha asociado a un proceso de tipo *debris* o *grain flow* con una gran carga de materiales arcillosos (Díez-Canseco, 2011; Alonso-Torres *et al.*, enviado).

El tramo T-1, descrito de forma preliminar por Díez-Canseco *et al.* (2012) como un tramo compuesto por lutitas arenosas, ha sido modificado por Alonso-Torres *et al.* (enviado) por arenas de grano fino a grueso, dispuestas de forma erosiva sobre el tramo inferior y que hacia techo presentan varios niveles de pelitas de espesor constante. Estos autores lo han asignado a la litofacies F en la asociación AF2 y han inferido procesos episódicos de entrada de lóbulos de desembocadura de canales a un lago somero alternantes con procesos de decantación.

El tramo T0 ha sido clasificado como un conglomerado matriz-soportado con un elevado contenido en matriz (Díez-Canseco *et al.*, 2012). Estarían representando una asociación AF3 y sus características sedimentológicas lo relacionan con un proceso energético de tipo *debris flow* (Alonso-Torres *et al.*, enviado). Estos autores indican que es un tramo fosilífero, registrando fragmentos de fósiles de macrovertebrados en varios sondeos.

Los sedimentos del tramo T1 se han definido como arcosas arcillosas que hacia techo pasan a ser lutitas arenosas (Minguéz Gandú, 2000). Díez-Canseco *et al.* (2012) indican que dentro del tramo hay niveles más lutíticos alternando con otros más arenosos, y que estos últimos representarían niveles de mayor energía, tipo canales, clasificándolo como asociación de facies AF1. En este tramo, principalmente hacia techo, se encuentran los principales yacimientos de microfauna de Somosaguas, aunque también se han obtenido restos de macrovertebrados (Cuevas-González, 2005a). En este caso el proceso generador está relacionado con el transporte en masa de partículas más finas y con algo menos de energía que para T3 o T4, por lo que Minguéz Gandú (2000) lo relacionó con flujos de

barro (*mud flow*) producidos en zonas medio-distales de abanicos aluviales. Estos sedimentos se asemejarían a las “Facies Madrid” de Riba (1959) y Benayas *et al.* (1960). Una de las características más interesantes de este tramo es la existencia de *chips* de carbonatos re trabajados (removilizados), indicativos de niveles carbonatados en zonas geomorfológicamente más elevadas, que llegaban a esta zona englobados dentro de los flujos de barro (Fesharaki, 2005).

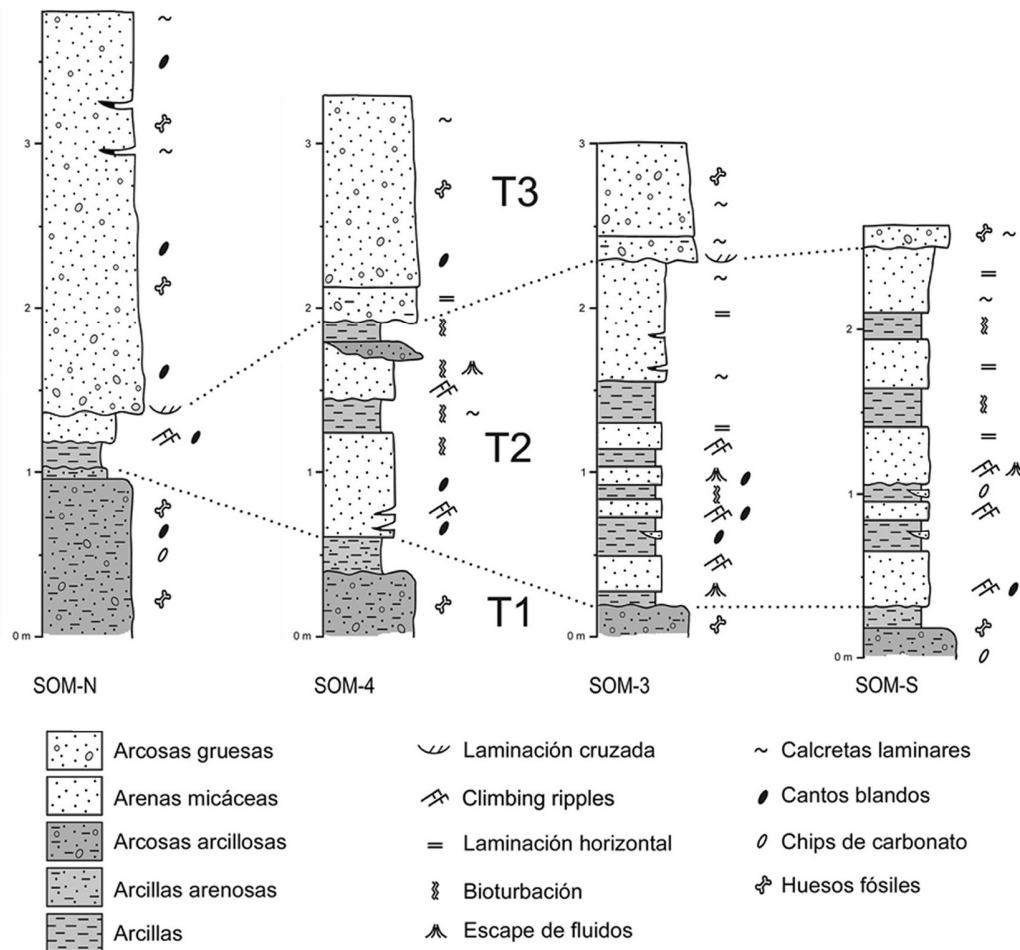


Figura 3.2- Sucesión estratigráfica de los afloramientos de Somosaguas, con indicación de la correlación de los diferentes tramos (Tomado de Hernández Fernández *et al.*, 2006).

El tramo T2 está formado por la alternancia de niveles de arenas micáceas con *ripples* trepadores (*climbing ripples*) y niveles masivos o finamente laminados de arcillas marrones, que no presentan contenido paleontológico y muestran características totalmente diferentes a los dos tramos superiores (T3 y T4) y al tramo infrayacente (T1). Díez-Canseco (2011) lo asocia a la AF2. Es característico el rápido acñamiento que experimenta este tramo hacia el Norte, de forma que bajo el yacimiento de Somosaguas-Norte se superponen T3 y T1, y hacia el Este desaparece de forma brusca en unos pocos metros (Díez-Canseco *et al.*, 2012). En relación con la terminología clásica, éstas serían semejables a las “Facies Guadalajara” de Riba (1957) en contraposición a T1, T3 y T4 más parecidos a las “Facies

Madrid” (Mínguez Gandú, 2000). Hasta el momento se han sucedido las hipótesis genéticas sobre este tramo; así para Mínguez Gandú (2000) es un depósito de arenas y limos asociado a transporte tractivo (mantos de arroyada o *sheet floods*) y decantación en ambiente lacustre, que se relaciona con la rápida descarga de sedimentos siliciclásticos de un abanico aluvial en una pequeña charca, alimentada por un acuífero colgado sobre el nivel de base regional, y generada en la intersección de dos lóbulos de abanico aluvial; mientras que para Cuevas-González (2005a) está relacionado con las zonas arcilloso-lutíticas del denominado “Pasillo lutítico de Majadahonda” propuesto por Torres *et al.* (1995) en función de las relaciones arena/arcilla de los sedimentos; y recientemente, Díez-Canseco *et al.* (2012) lo han relacionado con el apilamiento de lóbulos de desembocadura de canales (*stream mouth lobes* o *terminal sprays*, en el sentido de Fisher *et al.*, 2008) en una laguna de unos 900 m² de extensión (según clasificación de Fregenal-Martínez y Meléndez, 2010), y sucesivos episodios de decantación de arcillas, asociados a una zona de “sombra” entre abanicos aluviales.

En otras áreas de la cuenca, donde son más frecuentes sedimentos similares a los del tramo T2, se han relacionado con *sheet floods* y secuencias deltaicas de escaso desarrollo en las zonas de transición (Lomoschitz *et al.*, 1985; Mínguez Gandú, 2000). Estas alternancias de arcillas y arenas micáceas (aunque de grano más fino que las de Somosaguas) con secuencias estrato-decrecientes han sido interpretadas como lóbulos de desembocadura de canales en las zonas más distales de los abanicos aluviales procedentes del Sistema Central, denominándolas “Unidad de Alcalá” (Aznar Aguilera y Pérez González, 1990; Portero y Pérez González, 1990). En el área Oeste de Madrid es la primera vez que se describen este tipo de facies y podrían indicar la existencia de niveles de base locales separados de los sistemas lacustres de centro de cuenca (Portero *et al.*, 1990; López-Martínez *et al.*, 2000), aunque esta es una cuestión que sigue sin una explicación definitiva. Según Cuevas-González (2005a) el cambio que se observa en las estructuras sedimentarias de este tramo, con *ripples* trepadores en los niveles de arenas de la primera mitad de la secuencia y laminación horizontal en los niveles arenosos de la mitad superior, indicaría variaciones en la velocidad de descarga del sedimento, por un aumento o una disminución de la velocidad hacia techo del tramo o por una diferencia en la profundidad del cuerpo de agua. Esta última posibilidad reflejaría cuerpos de agua más profundos en los niveles inferiores de T2 según criterios de Stanley (1974). En el tramo T2 hay una importante modificación de la estratigrafía deposicional por la presencia de carbonatos laminares tanto horizontales (entre 1 y 10 cm) como oblicuos e incluso totalmente verticales (entre pocos milímetros y 5 cm). Éstos han sido interpretados, en función de sus características estratigráficas y macroscópicas, como carbonatos relacionados con paleosuelos relativamente recientes (Díez-Canseco *et al.*, 2012); sin embargo, Cuevas-González (2005a) interpretan estos carbonatos de Somosaguas como indicativos de momentos de menor tasa de sedimentación detrítica por procesos de retrogradación de las facies de abanicos aluviales. En relación con este tramo sigue habiendo una gran duda, en lo que respecta a la falta de restos paleontológicos, incluso de pólenes, tan comunes en otras zonas encharcadas del registro geológico.

El Tramo T3 se ha descrito como constituido por arcosas conglomeráticas con un elevado contenido de restos fósiles de macrovertebrados y se ha asignado a un proceso con gran capacidad de transporte masivo de derrubios (*debris flow*) en zonas medias de

abanicos aluviales (López-Martínez *et al.*, 2000; Mínguez Gandú, 2000). Se ha clasificado como perteneciente a la AF3 (Díez-Canseco, 2011). Estos sedimentos serían semejantes a los de las “Facies Madrid” (Riba, 1959; Benayas *et al.*, 1960; Mínguez Gandú, 2000). Aunque alberga los restos más abundantes de macrovertebrados del área de estudio (Tabla 3.1), también contiene restos de microvertebrados (Tabla 3.2). Observaciones sobre el contenido fosilífero (Élez, 2005), la consistencia y granulometría (Fesharaki, 2005) o la diferente abundancia de calcretas laminares (Cuevas-González, 2005b) dentro del tramo T3 generaron dudas sobre la unicidad del evento responsable de su depósito. Élez (2005), en base a la nube de puntos generada por la posición X, Y, Z de 1300 fósiles ubicados durante las primeras campañas de excavaciones, señaló la existencia de tres cuerpos sedimentarios con mayor concentración de fósiles que alternaban con otros tres cuerpos de mucha menor concentración fosilífera (Figura 3.4), estableciendo un modelo 3D de su arquitectura deposicional (Cuevas-González y Élez, 2006). Posteriormente, Cuevas-González (2006) y Domingo *et al.* (2009) seleccionaron muestras de *chips* de carbonato y restos fósiles de cada uno de estos cuerpos sedimentarios (muestras de los denominados niveles T3-1, T3-2 y T3-3 del tramo T3), concluyendo que presentaban diferencias significativas de su señal isotópica (isótopos de carbono y oxígeno) y por lo tanto que pertenecían a eventos diferentes formando una secuencia de cuerpos amalgamados (Hernández Fernández *et al.*, 2006). Sin embargo, quedó abierta la cuestión de si estas variaciones también afectaban a la composición de los sedimentos y a su mineralogía o como parecía a simple vista éstos eran mucho más homogéneos, por lo que se han seleccionado 6 muestras de este tramo que corresponden a los niveles ricos y pobres en restos fósiles definidos por Élez (2005) y cuya distribución y siglas se muestran en la Figura 3.4.

Carrasco *et al.* (2008) indicaron la existencia de pequeñas concentraciones de arcillas negruzcas (ver imagen en capítulo 4), irregularmente distribuidas por todo el tramo T3, a modo de “galletas” discontinuas; Fesharaki (2005) mencionó la existencia de otras muy parecidas pero de color crema. Su génesis y características mineralógicas no han sido estudiadas hasta el momento, aunque Díez-Canseco *et al.* (2012) relacionan las más extensas con “capas” producidas por transferencia vertical de arcillas o por elutriación de las partículas más finas durante el *debris flow* (Schreiber, 1978; Allen, 1982). Por otra parte, Cuevas-González (2005a) describió dos tipos de sedimentos carbonatados presentes en Somosaguas y especialmente claros en el tramo T3. Describe un grupo como calcretas de tamaño superior a 1 cm, generalmente horizontales o subhorizontales, con huellas de raíces y continuidad lateral de varios metros. Este grupo considera que separan sedimentos de características diferentes, como su textura o grado de cementación (Fesharaki, 2005). El otro grupo lo forman calcretas de menos de 1 cm, que muestran disposiciones desde subhorizontales hasta totalmente verticales, y que parecen rellenar fracturas o unir las calcretas de mayores tamaños. Este autor considera estas últimas como post-sedimentarias, pero describe las primeras como calcretas laminares interestratificadas con sedimentos detríticos, parecidas a las observadas en otros puntos de la cuenca por Alonso-Zarza (1999), y considera que su existencia y mayor desarrollo hacia techo del tramo T3 es indicativo de tasas de sedimentación detrítica relativamente bajas en comparación con la mitad inferior del tramo T3 (mayores tasas de sedimentación). Díez-Canseco (2011) y Díez-Canseco *et al.* (2012) no consideran estas diferencias y exponen que todas las calcretas serían post-sedimentarias y relativamente recientes. Este es un aspecto que está pendiente de estudio

desde el punto de vista petrográfico, de forma que se pueda realizar su caracterización y correcta interpretación.

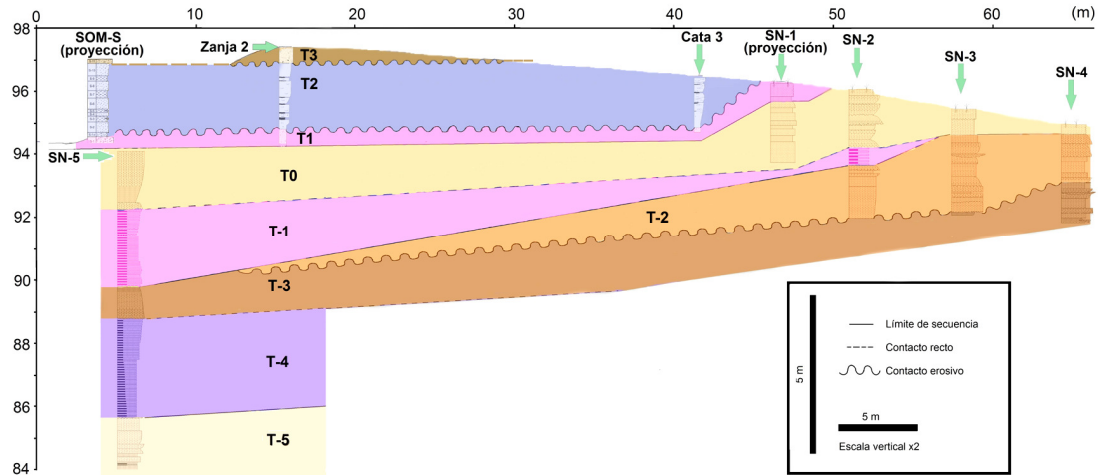


Figura 3.3- Sucesión estratigráfica representada en los sondeos y algunas catas de Somosaguas, con indicación de la correlación de los diferentes tramos (Alonso-Torres, Fesharaki y Manzanero, inédito). Las tonalidades similares hacen referencia a las mismas asociaciones de facies. Escala vertical coincidente con la utilizada por Élez (2005) para el levantamiento topográfico.

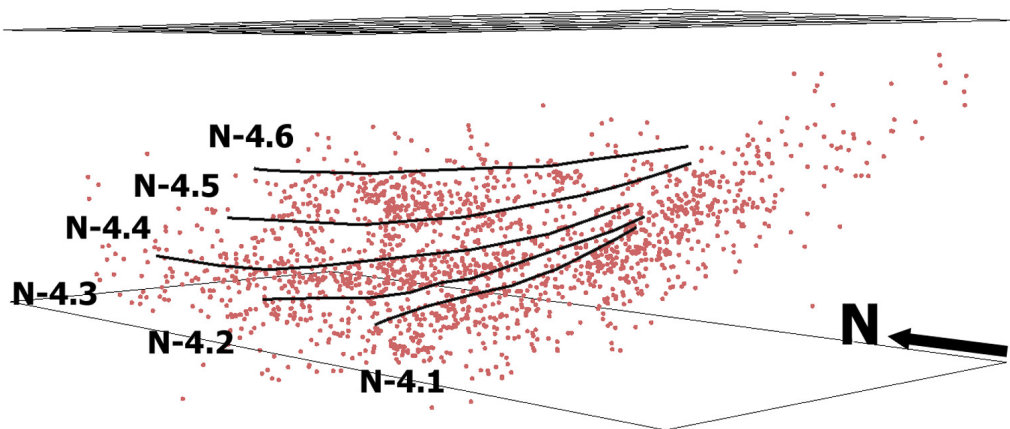


Figura 3.4- Modelo tridimensional de distribución de coordenadas de ubicación de los restos fósiles mayores de 3 cm del yacimiento de Somosaguas Norte (Modificado de Élez, 2005). Las líneas curvas indican los diferentes cuerpos sedimentarios con contenidos variables en restos fósiles. Se indican las numeraciones de las muestras recogidas para su estudio de detalle en esta Tesis.

El tramo T4 ha sido descrito de forma preliminar como integrado por arcosas arcillosas que pasan hacia techo a arcosas de grano medio, e interpretado como un depósito de transporte en masa que hacia techo pasa gradualmente a un transporte en régimen tractivo, en zona media de un abanico aluvial (Cuevas-González, 2005b). Según este autor los

primeros restos paleontológicos hallados en la zona pertenecían a la parte basal de este tramo, que ha sido descrito solo en dos afloramientos más al Oeste de los yacimientos donde actualmente se realizan las labores de excavación (columnas 6 y 7; Figura 4.1). Este tramo presenta unos 115 cm de afloramiento, pero quedó la incógnita de si éste era un tramo nuevo o podría asociarse al techo del tramo T3 y formar parte de los cuerpos amalgamados que conforman este tramo. Al ser un tramo poco estudiado hasta el momento no se había asignado ninguna litofacies ni una asociación de facies a este tramo.

Orden	Familia	Género	Especie	Indicación ambiental	Referencia bibliográfica
Artiodactyla	Bovidae	<i>Tethytragus</i>	sp.	Praderas abiertas o sabanas	Sánchez (2000); Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006)
Artiodactyla	Cervidae	<i>Heteroprox</i>	sp.	Biomás forestales de clima tropical templado (ramoneador)	López-Martínez <i>et al.</i> (2000); Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006)
Artiodactyla	Moschidae	<i>Micromeryx</i>	sp. aff. <i>M. flouresianus</i>	Hábitats forestales más o menos cerrados (ramoneador)	López-Martínez <i>et al.</i> (2000); Sánchez (2000)
Artiodactyla	Suidae	<i>Conohyus</i>	<i>simorrensis</i>	Ambientes intermedios (omnívoro, carroña y cáscaras duras)	Van der Made y Salesa (2004); Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006); Domingo <i>et al.</i> (2012b)
Perissodactyla	Equidae	<i>Anchitherium</i>	sp. cf. <i>A. cursor</i>	Hábitats intermedios de matorrales con árboles dispersos (ramoneador)	López-Martínez <i>et al.</i> (2000); Salesa y Sánchez (2000); Ansón (2013)
Perissodactyla	Rhinocerotidae	<i>Prosantorhinus</i>	<i>douvillei</i>	Hábitats encharcados (hipopotamoide)	Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006)
Proboscidea	Gomphoteriidae	<i>Gomphotherium</i>	<i>angustidens</i>	Bioma de bosque tropical (ramoneador)	Mazo (2000); Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006)
Carnivora	Amphicyonidae	<i>Amphicyon</i>	sp.	Hábitats intermedios (cazador y carroñero)	Salesa y Morales (2000); Belaústegui (2007)
Carnivora	Ursidae	<i>Hemicyon</i>	sp. cf. <i>H. sasaniensis</i>	Hábitats más abiertos que los amficionidos (cazador y carroñero)	Salesa y Morales (2000); Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006)
Carnivora	Felidae	<i>Pseudaelurus</i>	sp.	Hábitats boscosos-intermedios (hipercarnívoro)	Morales y Soria (1990); Salesa y Morales (2000)
Carnivora	Mustelidae	Indet.	Indet.	-	Salesa y Morales (2000)

Tabla 3.1. Listado faunístico de los macromamíferos de Somosaguas que completa las listas más recientes presentadas en Cárdbaba *et al.* (2006), Hernández Fernández *et al.* (2006) y Perales *et al.* (2009). En la última columna se indican las referencias de las que se han obtenido los datos taxonómicos y paleoecológicos.

Capítulo 3: Antecedentes del Área de Somosaguas - Húmera

Orden	Familia	Género	Especie	Indicación ambiental	Referencia bibliográfica
Insectivora	Erinaceidae	<i>Galerix</i>	<i>exilis</i>	Medios arbolados o zonas intermedias	Luis y Hernando (2000); Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006)
Insectivora	Erinaceomorpha	<i>Amphaechinus</i>	sp.	Ambientes áridos	Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006); Furió <i>et al.</i> (2011)
Insectivora	Soricidae	<i>Miosorex</i>	sp. cf. <i>M. grivensis</i>	Hábitats cerrados o intermedios	Luis y Hernando (2000); Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006)
Lagomorpha	Ochotonidae	<i>Lagopsis</i>	<i>peñai</i>	Pika termófila en zonas cercanas al agua	Luis y Hernando (2000); Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006)
Lagomorpha	Ochotonidae	<i>Prolagus</i>	sp. cf. <i>P. oeningensis</i>	Pika de distribución más septentrional	López-Martínez <i>et al.</i> (2000); Luis y Hernando (2000)
Rodentia	Cricetidae	<i>Cricetodon</i>	<i>soriae</i>	Hábitos cavadores en ambientes secos	Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006); Pina <i>et al.</i> (2008)
Rodentia	Cricetidae	<i>Democricetodon</i>	Sp.	Ambientes inestables y altas temperaturas	Luis y Hernando (2000)
Rodentia	Cricetidae	<i>Democricetodon</i>	<i>larteti</i>	Ambientes inestables y altas temperaturas	Luis y Hernando (2000)
Rodentia	Cricetidae	<i>Megacricetodon</i>	<i>gersii</i>	-	Oliver (2015)
Rodentia	Gliridae	<i>Armantomys</i>	<i>tricristatus</i>	Ambientes secos y abiertos (dieta herbácea xerofítica)	Luis y Hernando (2000); Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006)
Rodentia	Gliridae	<i>Microdyromys</i>	<i>koenigswaldi</i>	Altas temperaturas	Luis y Hernando (2000)
Rodentia	Gliridae	<i>Microdyromys</i>	<i>monspeliensis</i>	Altas temperaturas	Luis y Hernando (2000)
Rodentia	Sciuridae	<i>Heteroxerus</i>	<i>grivensis</i>	Zonas abiertas y secas	Luis y Hernando (2000)
Rodentia	Sciuridae	<i>Heteroxerus</i>	<i>rubricati</i>	Zonas abiertas y secas	Fernández Marrón <i>et al.</i> (2004); Blanco Segovia (2015)
Squamata	Lacertidae	Indet.	Indet.	-	Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006)
Squamata	Anguidae	Indet.	Indet.	Suelos vegetales desarrollados con cierta humedad	Luis y Hernando (2000); Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006)
Testudines	Testudinidae	cf. <i>Paleotestudo</i>	Indet.	Habitos terrestres en clima tropical semiárido	Pérez-García (2013)
Testudines	Testudinidae	cf. <i>Cheirogaster</i>	Indet.	Habitos terrestres en clima tropical semiárido	Pérez-García (2013)
Clase Reptilia → Suborden Serpentes				-	Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006)
Clase Aves				-	Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006)

Tabla 3.2. Listado faunístico de los micromamíferos y vertebrados no mamíferos de Somosaguas que completa las listas más recientes presentadas en Cárdaña *et al.* (2006), Hernández Fernández *et al.* (2006) y Perales *et al.* (2009). En la última columna se indican las referencias de las que se han obtenido los datos taxonómicos y paleoecológicos.

Estos yacimientos han sido datados, en base a las asociaciones de micromamíferos, como pertenecientes al Mioceno medio, Aragoniense Medio ($\approx 14,1$ - $13,9$ m.a.; Daams *et al.*, 1999) y asignados a la MN5 y Biozona E (Luís y Hernando, 2000; Hernández Fernández *et al.*, 2006, y citas interiores). El número de especies de vertebrados identificados se eleva a 31 (Tablas 3.1 y 3.2), y es el yacimiento mas rico en especies de mamíferos del Mioceno medio de la Cuenca de Madrid, con 24 especies identificadas hasta el momento (Perales *et al.*, 2009 y citas interiores).

Cabe destacar que todas las especies descritas hasta el momento están claramente asociados a ambiente continental, incluso las tortugas (Pérez-García, 2013), y no se han encontrado peces o anfibios claramente indicativos de los ambientes lacustres que han sido sugeridos por los estudios estratigráficos (López-Martínez *et al.*, 2000). Aunque en un intento de dar respuesta a este hecho, Díez-Canseco *et al.* (2012) lo justifican como la consecuencia de la morfología de la depresión que representa el tramo T2, interpretado como zona lacustre. Díez-Canseco *et al.* (2012) indican que los restos fósiles depositados en esta depresión quedarían más tiempo a la intemperie y serían más meteorizados que los restos que quedasen englobados rápidamente en los *debris* o *mud flows* representativos de los tramos T3 y T1. Esta explicación queda poco clara, ya que no revela por qué los restos no serían cubiertos por los sedimentos que supuestamente deberían estar decantando en la laguna, ni tampoco indica el tipo de meteorización o ataques que recibirían los restos para no quedar absolutamente ningún vestigio de ellos. Por otra parte, según los estudios de Bazán *et al.* (2014) no deberían producirse sesgos en las comunidades de roedores, tan abundantes en otros tramos, relacionados con el medio sedimentario. Por lo tanto consideramos que esta es aún una incógnita que necesita ser resuelta.

Domingo *et al.* (2009) consideraron un lapso temporal de unos 105-125 mil años para la sucesión sedimentaria aflorante (T1 a T3) en Somosaguas, en base a las tasas de sedimentación obtenidas, mediante datos magnetoestratigráficos, por Montes *et al.* (2006), para la Unidad Intermedia de la cuenca de Madrid.

Como se ha comentado, los tramos T1 y T3 son fosilíferos, con un conocimiento taxonómico bastante avanzado en ambos (Tablas 3.1 y 3.2), y también los primeros datos sobre el contenido fosilífero de los tramos representados en los sondeos son positivos (Alonso-Torres *et al.*, enviado). Esta superposición de episodios de fosilización de vertebrados en un mismo lugar es muy infrecuente en grandes cuencas como la de Madrid, aunque si se produce frecuentemente en otras cuencas intramontanas como las de Calatayud-Daroca-Teruel, y podría ser indicativo de la existencia de un nivel de base local en el área de Somosaguas (López-Martínez *et al.*, 2000).

Tampoco son muy comunes en el registro estratigráfico este tipo de yacimientos de fósiles de vertebrados depositados por flujos en masa (Bull, 1972; Díez-Canseco *et al.*, 2012). Para un yacimiento de similares características en Madagascar, Rogers (2005) propone que el elevado contenido en arcillas de los flujos actuaría como una capa protectora alrededor de los restos fósiles, lo que justifica, según este autor, la buena preservación de los restos fósiles. Teniendo en cuenta las características tafonómicas de este yacimiento, en el que se ha descrito la existencia de estados de conservación dispares debidos a diferentes trayectorias tafonómicas de los restos (Cuezva y Élez, 2000; Polonio y

López-Martínez, 2000; Martín-Perea, 2015), se podría en parte aplicar lo propuesto por Rogers (2005). Para T1 los restos, generalmente de microvertebrados, presentan un bajo grado de fracturación y en algunos casos están en conexión anatómica o con muy baja dispersión de los restos, lo que encaja bastante bien con un medio menos energético que T3 y con un gran contenido en arcillas que protegería los restos durante el transporte (Polonio y López-Martínez, 2000; Fesharaki, 2005). Sin embargo, en T3 los restos, generalmente de macrovertebrados, están en algunos casos bastante fracturados y totalmente desconectados anatómicamente y dispersos, y en otros la conservación es buena, lo que no se explicaría si las arcillas hubiesen protegido desde el inicio todos los restos fósiles. Este hecho podría encontrar alguna explicación con un estudio de los tipos de arcillas y sus relaciones con los restos fósiles.

Polonio y López-Martínez (2000) indican que los procesos de fracturación han sido muy intensos, hasta el punto de que las esquirlas de hueso indeterminables son los restos más abundantes en el yacimiento. Sin embargo, la alteración no ha sido intensa (principalmente estadios 0 y 1; Martín-Perea, 2015), aunque los restos presentan diversos grados de redondeamiento y superficies pulimentadas debidas a la abrasión (grados 2 y 3 de abrasión según Martín-Perea, 2015). Polonio y López-Martínez (2000) comentan la existencia de signos de fluidificación o licuefacción locales que han afectado a algunos restos fósiles rellenando de sedimento sus cavidades, al mismo tiempo que se expone la existencia de procesos de compactación diferenciales, sin embargo explican que ha habido una escasa acción selectiva de los procesos tafonómicos. Por otra parte, analizan los diferentes signos de alteración diagenética de los restos óseos (descalcificaciones, descomposiciones, desmineralizaciones, etc.), llegando a la conclusión de que han sido más afectadas las muestras del tramo T3 que las de T1, y que habría procesos de resedimentación y transporte lateral, más evidentes en T3. Recientemente, Martín-Perea (2015) ha realizado estudios tafonómicos, principalmente en relación con la fase bioestratigráfica, y entre otros datos indica que la mayor proporción de restos en Somosaguas pertenecen a molares, premolares y restos de dentición indeterminada, y solo a gran distancia estarían las costillas, vértebras y carpales. Este autor indica además que no ha habido, en todos los años en que se han llevado a cabo las excavaciones, observaciones sobre restos articulados o asociados. Estos datos indican procesos energéticos que dispersan los restos, los fracturan y dejan en mejor estado de conservación los restos más duros (los restos dentarios). Además comentan que, según Behrensmeyer (1978), en climas semiáridos, como el inferido para Somosaguas, los restos deben ser enterrados antes de 12 meses para poder conservar sus características superficiales (no se han observado marcas de roedores, carnívoros o corrosión), por lo que este debe haber sido el caso de los restos de Somosaguas. Este hecho indicaría que las coladas de barro y de derrubios eran muy comunes, incluso en períodos inferiores al año. Ninguno de los estudios tafonómicos ni isotópicos realizados en Somosaguas han inferido procesos de reelaboración de restos fósiles (Polonio y López-Martínez, 2000; Domingo *et al.*, 2009; Martín-Perea, 2015). Los estudios tafonómicos han indicado que los restos hallados corresponderían a entidades démicas, autóctonas y resedimentadas manteniéndose *in situ* (Martín-Perea, 2015).

De forma general, se ha inferido un ambiente de abanicos aluviales y zonas palustres-lacustres, recorridas por canales efímeros, que transportarían sedimentos erosionados del área fuente, situado a unos 30 km en el Sistema Central, y con una dirección predominante

de las paleocorrientes aproximadamente Norte-Sur o Noroeste-Sureste (López-Martínez *et al.*, 2000; Polonio y López-Martínez, 2000; Fesharaki, 2005; Hernández Fernández *et al.*, 2006, Martín-Perea, 2015 y citas interiores). Según Díez-Canseco *et al.* (2012) hay dos direcciones de paleocorrientes principales (aproximadamente E-W y N-S), lo que relacionan con procesos de avulsión lateral de los canales que descargaban en las zonas lacustres (Fregenal-Martínez y Meléndez, 2010) y así los niveles más arcillosos serían los sedimentos laterales más distales de otros lóbulos que descargaban en las proximidades. Los principales factores que afectaron el depósito de estos sistemas de abanicos, cada vez más progradantes hacia la cuenca, fueron una activa tectónica compresional en el Sistema Central, la composición de las áreas fuente principalmente graníticas y gnéisicas, y un clima cálido y seco con gran estacionalidad hídrica que tendería al enfriamiento y aumento de la aridez (Calvo *et al.* 1989a,b; Villaseca *et al.*, 1993; De Vicente *et al.*, 1996a, b; López-Martínez *et al.*, 2000; Hernández Fernández *et al.*, 2006; Domingo *et al.*, 2009; Cárdbaba *et al.*, 2015).

La asociación de macro y micromamíferos de Somosaguas (Tablas 3.1 y 3.2) ha permitido dibujar un paisaje, en un bioma de tipo sabana, y con un clima tropical semiárido con estacionalidad hídrica muy marcada dentro de un área de transición entre las regiones biogeográficas Paleártica y Paleotropical, en la que habría zonas de amplias praderas tropicales con algunos arbustos dispersos y parches de vegetación más cerrada cerca de los encharcamientos e incluso bosques galería alrededor de cursos de agua relativamente efímeros (Hernández Fernández *et al.*, 2003; 2006; Perales *et al.*, 2009). Por lo tanto, se infiere un mosaico de ambientes abiertos, transicionales y boscosos en los que se desarrollarían las faunas descritas (López-Martínez *et al.*, 2000). Según García Yelo *et al.* (2010) la sabana en la que se incluye la región de Somosaguas durante el Mioceno medio tendría unas dimensiones de unos 595.660 Km² y un perímetro aproximado de 3.719 km, siendo ambos valores congruentes con el tamaño que tendría la región Iberoccitana durante el Mioceno medio. Las especiales condiciones climáticas y paleogeográficas reinantes en el área de estudio dieron refugio a especies como el *Prosantorhinus*, descrito por primera vez para la cuenca de Madrid, o *Conohyus simorreense* que sería una especie invasora de áreas más orientales de Eurasia (López-Martínez *et al.*, 2000; Hernández Fernández *et al.*, 2006).

La fauna de Somosaguas es claramente tropical, aunque al mismo tiempo es representativa del periodo en el que se produjo la configuración de la capa de hielo del Este de la Antártida, que tuvo como consecuencia la tendencia hacia el enfriamiento generalizado del Planeta (Shevenell *et al.*, 2004; Hernández Fernández *et al.*, 2006). El trabajo de Cuevas-González (2005a) puso de manifiesto ciertas contradicciones y problemas en las interpretaciones paleoclimáticas, en base a las asociaciones de mamíferos presentes en los diferentes yacimientos de la cuenca de Madrid, realizadas previamente, en comparación con datos de las cercanas cuencas de Calatayud-Daroca-Teruel. Este autor explica que tanto en la Cuenca de Madrid como en Calatayud-Daroca la tendencia general, durante el Aragoniense Medio, era de aumento de la aridez con el retorno a condiciones más húmedas en el Aragoniense Superior. Sin embargo a una mayor resolución se observan diferencias (Cuevas-González, 2005a); así, mientras que en la cuenca de Madrid se observa un aumento de humedad en la biozona E (Soria *et al.*, 2000), en la de Calatayud-Daroca hay una tendencia a la aridez (Van der Meulen y Daams, 1992 y citas interiores). Cuevas-González (2005a,b) propone que durante la Biozona E, en la Cuenca de Madrid, y en base a

observaciones en los yacimientos de Somosaguas, se habría registrado una tendencia similar a la de Calatayud-Daroca y que por lo tanto se habría producido un aumento de la aridez. Diversos datos sobre la estructura de tamaños corporales de la fauna, la sedimentología, mineralogía y geoquímica procedentes de los yacimientos de Somosaguas (Fesharaki *et al.*, 2005, 2007; Gómez Cano *et al.*, 2006; Hernández Fernández, 2006; Carrasco *et al.*, 2008; Domingo *et al.*, 2009, 2012b; Perales *et al.*, 2009; García Yelo *et al.*, 2014) apoyaron posteriormente estas observaciones. Así, en relación con la sedimentología de Somosaguas se observó que la variación en la vertical de algunas estructuras sedimentarias (*ripples* trepadores sustituidos por laminación paralela) sería indicativa de la disminución de la profundidad de las charcas locales como respuesta a condiciones más áridas (Cuevas-González, 2005a; Hernández Fernández *et al.*, 2006). Por otra parte los estudios mineralógicos indicaron estacionalidad hídrica con pocas precipitaciones (100-500 mm/año) y largos periodos de sequedad (Fesharaki *et al.*, 2007; Carrasco *et al.*, 2008), aunque estos datos se discuten con mayor detalle en los próximos capítulos. Finalmente, los estudios isotópicos en esmalte dental de fósiles de mamíferos y *chips* de carbonatos (Cuevas-González, 2006; Hernández Fernández *et al.*, 2006; Domingo *et al.*, 2009) indicaron una caída de la temperatura media, entre la base y el techo de los afloramientos de Somosaguas, cifrado en 15 °C (de los 26,6 °C en T1 a los 11,6 °C en T3), indicando claramente un enfriamiento en la Biozona E. Además, trabajos paleontológicos posteriores y mediante isótopos estables en restos fósiles de varios yacimientos madrileños (Domingo *et al.*, 2012a; Rey Samper *et al.*, 2013) confirmaron que este enfriamiento concuerda temporalmente con el enfriamiento global y la tendencia a la aridez descritas por Zachos *et al.* (2001) y Böhme (2003). Estos procesos de aumento de la aridez y de enfriamiento global, acaecidos entre los 15 y 13,5 m.a, habrían seguido al periodo, cálido y húmedo, conocido como Óptimo Climático del Mioceno (entre los 17 y 15 m.a), dejando su impronta en los sedimentos del área estudiada (Domingo, 2008).

Curiosamente estas variaciones en la temperatura y la humedad registradas a lo largo de la sucesión sedimentaria de Somosaguas y en la cuenca de Madrid (Domingo *et al.*, 2009; 2012a) no han afectado de forma destacable a las asociaciones de faunas de mamíferos descritas en estos yacimientos y otros de la misma época (Soria *et al.*, 2000). Tanto los requerimientos en dieta como las características de adaptación al medio indican que no hubo grandes cambios en las faunas de Somosaguas (Domingo *et al.*, 2009). Estos aspectos se pueden explicar por la versatilidad dietaria de los herbívoros de ambientes áridos (Sinclair, 2000) y su adaptabilidad a las variaciones de temperatura y aridez dentro de unos rangos relativamente más amplios que las faunas de otros ambientes (Walter y Breckle, 1986; Schultz, 2005).

Diversos estudios sobre el material fósil del yacimiento (anatómicos, paleohistológicos y de desgaste superficial de restos dentales) han permitido conocer que gran parte de los restos proceden de individuos infantiles y juveniles tanto en el caso de los macromamíferos como de los micromamíferos, lo que indicaría que estas especies vivían en la región, y no eran divagantes o migradoras, y estaría en concordancia con un ambiente duro con muchos meses secos y una corta estación con lluvias torrenciales que alimentaría los encharcamientos locales (Cuezva y Élez, 2000; López-Martínez *et al.*, 2000; Mazo, 2000; Salesa y Morales, 2000; Hernández Fernández *et al.*, 2006; Torroba *et al.*, 2010; Manzanero y Hernández Fernández, 2014; Menéndez *et al.*, 2015; entre otros).

Los trabajos de Luis (2003), utilizando métodos de rarefacción, y de Blanco Segovia (2015), analizando la diferencia cuantitativa (abundancias relativas de especies) de las especies de microvertebrados presentes en el tramo T1 de Somosaguas, han mostrado ciertas heterogeneidades en cuanto a la distribución cualitativa (diferentes especies en una y otra zona) y principalmente a la cuantitativa en este tramo. Este segundo autor, indica que las diferencias observadas a muy poca distancia (máximo de 30 metros) en un mismo tramo sedimentario pueden responder a eventos sedimentarios diferentes que recogiesen diferentes abundancias de cada especie en función del momento en el que se produjese la colada de barro. Este hecho lo justifican por la existencia de un clima muy duro que en ciertas épocas generaría mayor mortandad que en otras, e incluso diferentes abundancias de cada especie, por lo que la posible mezcla de varias coladas sucesivas, con diferentes abundancias podría generar diferencias en la horizontal. Este hecho estaría apoyado por las observaciones de pequeñas diferencias sedimentológicas y mineralógicas en la vertical del tramo T1 (Fesharaki, 2005; Fesharaki *et al.*, 2007; Díez-Canseco, 2011).

Otros estudios realizados en este yacimiento se basan en la caracterización de paleopatologías (Sala-Burgos *et al.*, 2007), inferencias evolutivas (Pérez González *et al.*, 2009; Ansón y Hernández Fernández, 2013), o en aspectos actualistas relacionados con la edafología, botánica y zoología de esta área como formas de comprender los procesos que han actuado sobre esta área y como ayuda en la prospección de concentraciones similares de fósiles (Monterde Vitoria, 2014; Monterde Vitoria *et al.*, 2015; Martín-Perea y Fesharaki, 2015; Blanco Segovia *et al.*, en preparación).

Una de las líneas de trabajo más innovadoras y exitosas dentro del Proyecto Somosaguas de Paleontología, encargada de gestionar las excavaciones de este yacimiento (López-Martínez *et al.*, 2005), ha sido la divulgación de la Paleontología y la Geología a todos los públicos (Castilla *et al.*, 2006, 2009; Sala-Burgos y Gil-Pita, 2006; Castilla y de la Iglesia, 2008; Cuevas-González *et al.*, 2008; Benítez-López *et al.*, 2009; De la Ossa *et al.*, 2012; Fesharaki *et al.*, 2012), tanto que se acuñó el nombre de “Paleontología Social” (Torices *et al.*, 2004) para definir la labor de divulgación de esta ciencia, y en especial la divulgación a personas con necesidades educativas especiales. Los antecedentes relacionados con esta temática se desarrollan directamente en el octavo capítulo dedicado a los trabajos de innovación educativa y divulgación realizados en el transcurso de esta Tesis.

Finalmente, hasta el inicio de las publicaciones realizadas como parte de esta Tesis no se habían realizado estudios petrográficos ni mineralógicos en el área de los yacimientos de Somosaguas, por lo que en este sentido los únicos antecedentes disponibles son los que de forma general se han descrito en el capítulo 2 para el área Oeste de la cuenca de Madrid.

3.3- Características del Yacimiento de Húmera

Al contrario que los yacimientos de Somosaguas, el yacimiento de Húmera está mucho menos estudiado y hasta el momento solo se dispone de dos trabajos previos publicados. En 2010 se realizó una primera descripción del yacimiento definiendo su estratigrafía y un primer listado faunístico, publicados por Menéndez Gamella *et al.* (2010). En 2013 se

realizó un trabajo más detallado en relación con la taxonomía (Tabla 3.3) y la bioestratigrafía (Cárdaba *et al.*, 2013).

Desde el punto de vista geológico, el yacimiento de Húmera se encuentra en una área de facies detríticas en zonas medio-distales de abanicos aluviales, tal y como ha sido descrita la zona en los modelos clásicos (Portero y Olivé, 1983; Hoyos *et al.*, 1985). Esta englobada dentro de la denominada Unidad Intermedia del Mioceno de la cuenca de Madrid (Megías *et al.*, 1982, 1983; Alberdi *et al.*, 1983, 1984; Junco y Calvo, 1983; Calvo *et al.*, 1993a). Este yacimiento se encuentra sobre el corredor NW-SE denominado “Pasillo lutítico de Majadahonda”, que separa dos masas arenosas (abanicos aluviales) pertenecientes al sistema de abanicos aluviales progradantes desde el Sistema Central (Torres *et al.*, 1995; Menéndez Gamella *et al.*, 2010). De forma general, y al igual que para los yacimientos de Somosaguas, se ha inferido un ambiente de abanicos aluviales y zonas palustres-lacustres, recorridas por canales efímeros. La sedimentación siliciclástica muy activa traería sedimentos erosionados del área fuente, situado a unos 30 km en el Sistema Central, y con una dirección predominante de las paleocorrientes aproximadamente Norte-Sur o Noroeste-Sureste (Menéndez Gamella *et al.*, 2010; Cárdaa *et al.*, 2013).

Menéndez Gamella *et al.* (2010) identificaron dos afloramientos de interés separados unos 40 m, que tenían un espesor observable de unos 3,60 m y muy buena continuidad lateral entre ellas, denominadas Húmera Norte y Húmera Oeste. Hasta el momento, las labores de excavación solo se han centrado en el yacimiento de Húmera Norte. En ésta se definieron cinco tramos estratigráficos de composición siliciclástica (Figura 3.5). Las dos primeras (H1 y H2) compuestas por arenas arcósicas inmaduras que contienen restos de macrovertebrados fósiles, y las tres siguientes (H3, H4 y H5) compuestas por lutitas con cantos dispersos, y entre las que H3 contiene abundantes restos de fósiles de microvertebrados (Menéndez Gamella *et al.*, 2010).

En el capítulo 4 se describen pormenorizadamente las características de cada uno de los niveles en que se han dividido los tramos para su estudio petrológico y mineralógico de detalle. Los dos primeros tramos han sido asignados a procesos de tipo *debris flow*, con momentos de cierta fluidificación del sedimento y momentos de exposición subaérea y detención de la sedimentación detrítica, que formarían los incipientes paleosuelos carbonatados, representados por las calcretas laminares (Menéndez Gamella *et al.*, 2010; Cárdaa *et al.*, 2013). Los tres tramos superiores han sido asignados a ambientes palustres-lacustres con influencia de partes distales de abanicos aluviales (Menéndez Gamella *et al.*, 2010; Cárdaa *et al.*, 2013). La existencia de abundante porosidad, en parte rellenada por carbonatos, y de calcretas bifurcadas, además de algunas características tafonómicas de los restos dentales (ver más adelante) han llevado a proponer procesos post-sedimentarios de disolución-precipitación en etapas diagenéticas tempranas (Menéndez Gamella *et al.*, 2010; Cárdaa *et al.*, 2013), aunque estos son aspectos que deben ser estudiados y descritos en detalle (ver capítulos 5 a 7 de esta Tesis).

Estos yacimientos han sido datados, en base a las asociaciones de micromamíferos, como pertenecientes al Mioceno medio, Aragoniense Medio (\approx 14,1-13,9 m.a.; Daams *et al.*, 1999) y asignados a la MN5 y Biozona E (Cárdaa *et al.*, 2013 y citas interiores).

El listado faunístico de Húmera (Tabla 3.3) esta formado por una asociación de macrovertebrados (en H1 y H2) y de microvertebrados (en H3), todavía algo escaso respecto a lo que para su edad y ambiente debería ser. Además, la escasez de piezas claramente definitorias de las especies deja muchos de los restos clasificados a nivel de género.

Aunque los restos fósiles de Húmera, al igual que los de los yacimientos de Somosaguas, presentan estados de conservación muy variados, seguramente indicativos de diferentes trayectorias tafonómicas, se han observado algunas características tafonómicas propias y que las diferencian de los restos de Somosaguas, en especial en el caso de los microvertebrados (Cárdaba *et al.*, 2013). Se han observado dos características tafonómicas destacables: (1) la completa ausencia de dentina y preservación de una delgada capa de esmalte en casi la totalidad de los ejemplares, que se achaca a una disolución de los restos en ambientes de pH ligeramente ácido (Menéndez Gamella *et al.*, 2010); (2) las piezas dentales más numerosas son los terceros molares (Menéndez Gamella *et al.*, 2010) al contrario de lo que suele ser común y de lo que ocurre en los yacimientos de Somosaguas; esto se ha achacado a la debilidad de las piezas de mayor tamaño, una vez que han perdido la dentina, ya sea ante un proceso de transporte energético o durante el propio procesado (lavado-tamizado) de las muestras (Menéndez Gamella *et al.*, 2010).

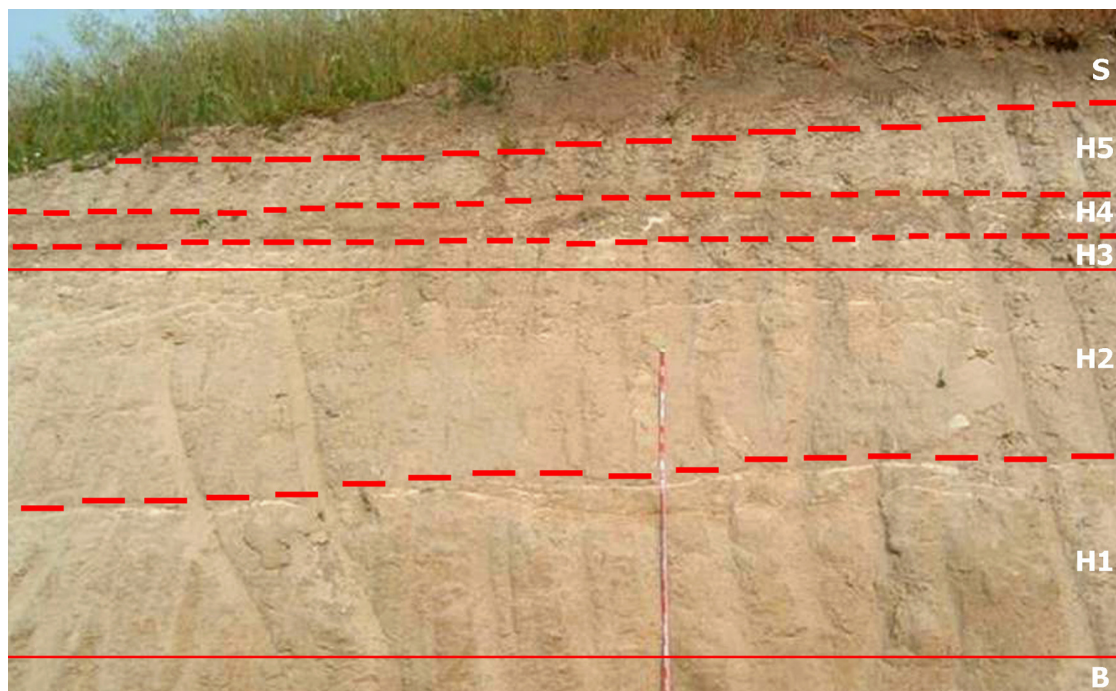


Figura 3.5- Imagen del afloramiento de Húmera Oeste (derecha de la foto) y su continuación hacia Húmera Norte con indicación de los diferentes tramos definidos para este yacimiento. B = base cubierta por sedimentos y escombros durante la realización del estudio; S = tramo con claros signos de alteración edáfica actual.

Desde el punto de vista paleoecológico y paleoambiental la similitud con las faunas de Somosaguas es muy grande y son mayoritarios los “estrategas de la *r*”, indicando un

ambiente inestable y con paisajes mixtos de pradera y parches de vegetación arbórea y arbustiva más densos, al igual que los deducidos para Somosaguas. Esta asociación de faunas sería típica de ambientes de sabana en las que predominasen los meses secos, pero con épocas de precipitaciones que mantuviesen ciertos parches de vegetación más densa (Menéndez Gamella *et al.*, 2010).

Orden	Familia	Género	Especie	Indicación ambiental	Referencias bibliográficas
Artiodactyla	Cervidae	<i>Heteroprox</i>	<i>moralesi</i>	Biomás forestales de clima tropical templado (ramoneador)	López-Martínez <i>et al.</i> , (2000); Cárdbaba <i>et al.</i> (2013)
Perissodactyla	Equidae	<i>Anchitherium</i>	sp.	Hábitats intermedios de matorrales con árboles dispersos (ramoneador)	Salesa y Sánchez (2000); Ansón (2013); Cárdbaba <i>et al.</i> (2013)
Proboscidea	Gomphoteriidae	<i>Gomphotherium</i>	<i>angustidens</i>	Bioma de bosque tropical (ramoneador)	Mazo (2000); Cárdbaba <i>et al.</i> (2013)
Insectivora	Erinaceidae	<i>Galerix</i>	sp.	Medios arbolados o zonas intermedios	Hernández Fernández <i>et al.</i> (2006); Cárdbaba <i>et al.</i> (2013)
Lagomorpha	Ochotonidae	<i>Lagopsis</i>	sp.	Pika termófila adaptada a zonas cerca de agua	Luis y Hernando (2000); Cárdbaba <i>et al.</i> (2013)
Rodentia	Cricetidae	<i>Megacricetodon</i>	<i>collongensis-gersii</i>	-	Cárdbaba <i>et al.</i> (2013)
Rodentia	Cricetidae	<i>Democricetodon</i>	<i>larteti</i>	Ambientes inestables y altas temperaturas	Luis y Hernando (2000); Cárdbaba <i>et al.</i> (2013)
Rodentia	Gliridae	<i>Armantomys</i>	<i>tricristatus</i>	Ambientes secos y abiertos (dieta herbácea xerofítica)	Luis y Hernando (2000); Cárdbaba <i>et al.</i> (2013)
Rodentia	Gliridae	<i>Microdyromys</i>	<i>koenigswaldi</i>	Altas temperaturas	Luis y Hernando (2000); Cárdbaba <i>et al.</i> (2013)
Rodentia	Gliridae	<i>Microdyromys</i>	aff. <i>monspeliensis</i>	Altas temperaturas	Luis y Hernando (2000); Cárdbaba <i>et al.</i> (2013)
Rodentia	Sciuridae	<i>Heteroxerus</i>	<i>rubricati</i>	Zonas abiertas y secas	Fernández Marrón <i>et al.</i> (2004); Cárdbaba <i>et al.</i> (2013)
Rodentia	Sciuridae	<i>Heteroxerus</i>	<i>grivensis</i>	Zonas abiertas y secas	Luis y Hernando (2000); Cárdbaba <i>et al.</i> (2013)
Rodentia	Sciuridae	<i>Heteroxerus</i>	sp.	Zonas abiertas y secas	Fernández Marrón <i>et al.</i> (2004); Cárdbaba <i>et al.</i> (2013)
Clase Reptilia (indet.)					

Tabla 3.3. Listado faunístico del yacimiento de Húmera que completa las listas más recientes presentadas en Menéndez Gamella *et al.*, (2010) y Cárdbaba *et al.* (2013). En la última columna se indican las referencias de las que se han obtenido los datos taxonómicos y paleoecológicos.

Capítulo 4

Descripción Litoestratigráfica

Con sus mentes cuatridimensionales, y en su forma interdisciplinar extremadamente verbal,
los geólogos pueden zafarse de casi cualquier cosa
John McPhee



4.1- Introducción

La caracterización general de las litologías presentes en las cuatro columnas aflorantes en el área de las excavaciones del yacimiento de Somosaguas fue realizada por Mínguez Gandú (2000). Cuevas-González (2005a), Élez (2005), Fesharaki (2005) y Díez Canseco *et al.* (2012) han realizado diversas modificaciones sobre ese trabajo inicial. En la presente Tesis se hace una descripción litológica-estratigráfica de detalle, de estas cuatro columnas estratigráficas (Figura 4.1), basada en los niveles definidos por Fesharaki (2005). Cuevas-González (2005b) describió otras dos pequeñas columnas estratigráficas aflorantes en los alrededores de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociología (Campus de Somosaguas, UCM) y definió un nuevo tramo en esta zona. Se realizará una descripción detallada de estas dos columnas y se ampliará la sección estudiada por este autor, lo que permitirá definir dos nuevos tramos. Además, se incorporan descripciones detalladas de los tramos de los cinco sondeos (SN-1 a SN-5) realizados en el área del yacimiento (Figura 4.2) y que de forma parcial y poco detallada se han tratado en los trabajos de Díez Canseco (2011) y Alonso-Torres *et al.* (enviado).

En el área del yacimiento de Húmera se realizó un trabajo preliminar (Menéndez Gamella *et al.*, 2010) que describía a grandes rasgos los tramos y las litologías de los diferentes niveles observados en las dos columnas realizadas. Aquí modificamos ligeramente la asignación de niveles y algunas de las observaciones expuestas en dicho trabajo y realizamos una caracterización de mayor detalle de cada nivel (Figura 4.3).

Para la separación de los diferentes niveles se han usado los criterios de diversidad litológica, aspectos texto-estructurales de los sedimentos, la continuidad lateral y el contenido paleontológico. Se ha utilizado terminología de sedimentos inconsolidados (grava, arena, pelita, arcilla) en lugar de terminología de roca.

La sucesión estratigráfica estudiada en el área de Somosaguas-Húmera se extiende entre una cota mínima de 653 y una cota máxima de 675 m. Toda la serie presenta un buzamiento de 2 - 3 grados hacia el sur (Élez, 2005; Fesharaki, 2005). La extensión superficial del área estudiada es de algo más de 200.000 m², de los que algo menos de 25.000 m² sabemos con certeza que son fosilíferos (las cotas superficiales y las áreas se han obtenido mediante el programa Planea de la Web Madrid.org).

Tomando como base los estudios magnetoestratigráficos de la Unidad Intermedia del Mioceno de la cuenca de Madrid (Megías *et al.*, 1983; Montes *et al.*, 2006), que indican una tasa de sedimentación de unos 4,0 a 4,7 cm/Ka, los 17-18 m de sucesión sedimentaria (de T-5 a T5) estudiadas en la zona de Somosaguas representarían un lapso temporal aproximado de unos 360-425 mil años. Mientras que de H1 a H5, en la sucesión sedimentaria de Húmera, quedarían representados unos 77-90 mil años.

Las coordenadas geográficas, obtenidas por *Google Earth*, de las columnas y los sondeos realizados son las siguientes (Ver Figura 3.1 para distribución espacial de columnas y sondeos):

Somosaguas Sur (S)	→ 40°25'49,50"N, 3°47'19,70"W.
Somosaguas Tres (3)	→ 40°25'50,00"N, 3°47'19,74"W.
Somosaguas Cuatro (4)	→ 40°25'50,47"N, 3°47'19,34"W.
Somosaguas Norte (N)	→ 40°25'50,86"N, 3°47'19,09"W.
Somosaguas Seis (6)	→ 40°25'50,73"N, 3°47'24,61"W.
Somosaguas Siete (7)	→ 40°25'52,39"N, 3°47'28,42"W.
Somosaguas Sondeo 1 (SN-1)	→ 40°25'49,97"N, 3°47'17,99"W.
Somosaguas Sondeo 2 (SN-2)	→ 40°25'49,75"N, 3°47'17,98"W.
Somosaguas Sondeo 3 (SN-3)	→ 40°25'49,74"N, 3°47'17,76"W.
Somosaguas Sondeo 4 (SN-4)	→ 40°25'49,75"N, 3°47'17,55"W.
Somosaguas Sondeo 5 (SN-5)	→ 40°25'49,43"N, 3°47'19,80"W.
Húmera Norte (HN)	→ 40°25'42,43"N, 3°47'12,35"W.
Húmera Oeste (HW)	→ 40°25'42,04"N, 3°47'13,12"W.

4.2- Columna de Somosaguas Sur

La cota máxima que alcanza en el punto donde se ha levantado la columna es de 664,8 m. La descripción litológica de la columna se realiza de muro a techo de la sucesión (Figura 4.1) distinguiéndose los siguientes niveles:

- **(S-1)** → Nivel basal del tramo T1 con una potencia observable de unos 25 cm antes de producirse una mezcla con material removilizado durante las excavaciones y llegar al nivel de la acera. La litología es de arenas de grano fino y medio, con un contenido importante en matriz arcillosa y cantos dispersos (de hasta 4 mm). De forma gradual aumenta el contenido en matriz arcillosa y disminuyen los clastos más gruesos hacia techo. El depósito es matriz-soportado, mal seleccionado y de color crema oscuro. Los granos más gruesos son de cuarzo y feldespatos, subangulosos, acompañados de pocos fragmentos de roca granuda. Presenta *chips* de carbonatos, redondeados en sus bordes (Figura 4.4a). Pasa gradualmente al siguiente nivel. Es muy rico en fósiles de micromamíferos y también contiene restos de macromamíferos del Mioceno medio. Es el nivel principal del que se extraen los microfósiles del yacimiento de Somosaguas Sur.

- **(S-1 α)** → Nivel de 10 cm de espesor que define el techo del tramo T1. Es una pelita muy arcillosa, de color ocre amarillento. Los pocos granos distinguibles son de cuarzo y feldespatos subangulosos. Su contacto con el nivel superior es neto en la zona donde se ha realizado la columna, aunque lateralmente presenta unas ténues ondulaciones. Su contenido en microfósiles es ligeramente superior al nivel inferior.

- **(S-2)** → Primero de los nueve niveles que definen la alternancia de litologías del tramo T2. Formado por 30 cm de arenas micáceas de composición arcósica, de tamaño de grano muy fino y color crema. La matriz es arcillosa y la selección es moderada-buena. Presenta estratificación cruzada de pequeña escala muy difusa en su mitad inferior que pasa a *ripples* trepadores muy bien definidos en la parte superior, por el aumento en la concentración de micas negras de mayor tamaño, y de forma dispersa contiene cantos blandos milimétricos. Como el resto de niveles del tramo T2 no contiene fósiles.

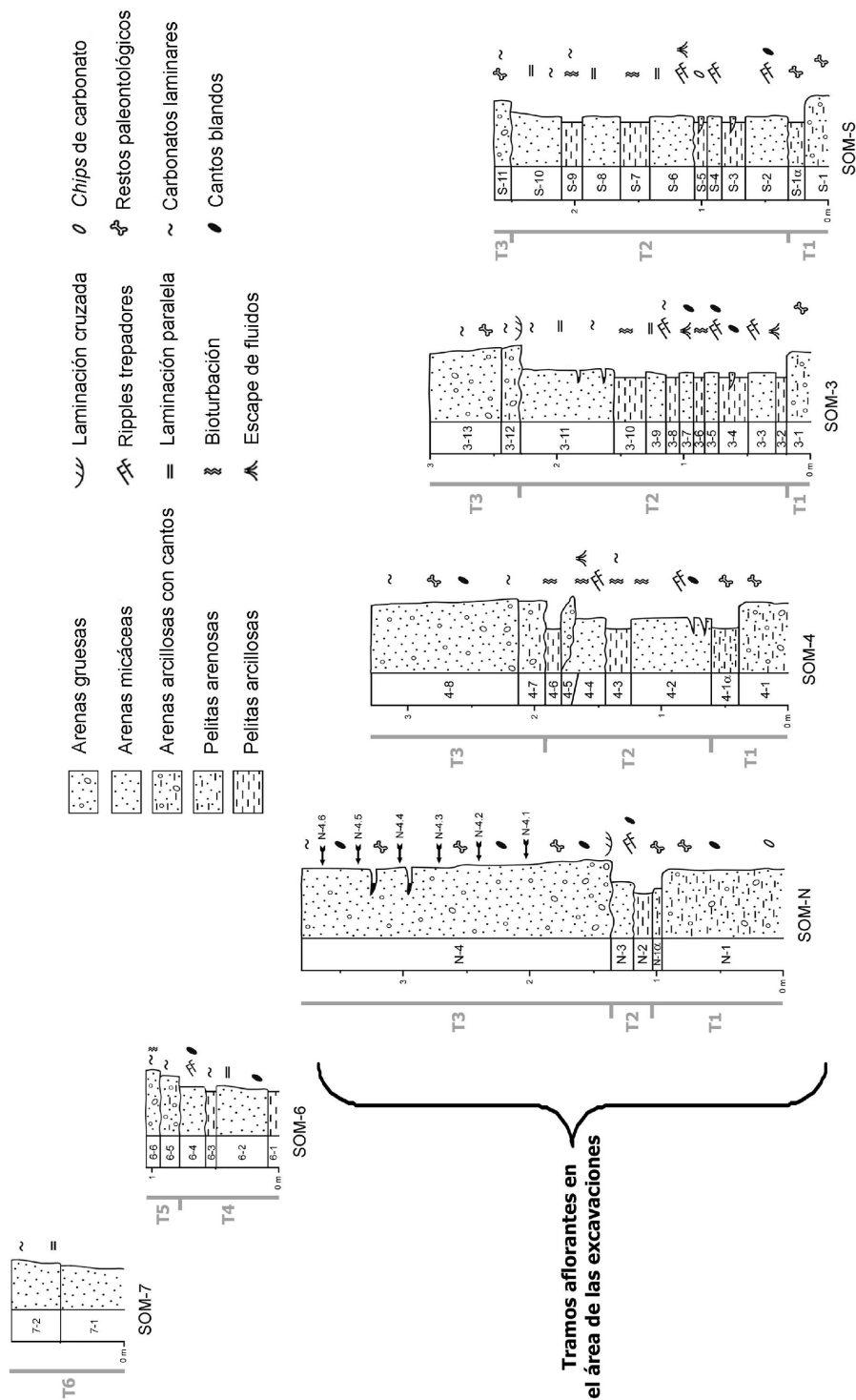


Figura 4.1- Columnas estratigráficas de los afloramientos del yacimiento de Somosaguas que modifican ligeramente las mostradas en el capítulo 3, añaden las columnas 6 y 7, y utilizan la terminología petrográfica con la que realizamos las descripciones del presente capítulo. Se indican los tramos representados en cada columna.

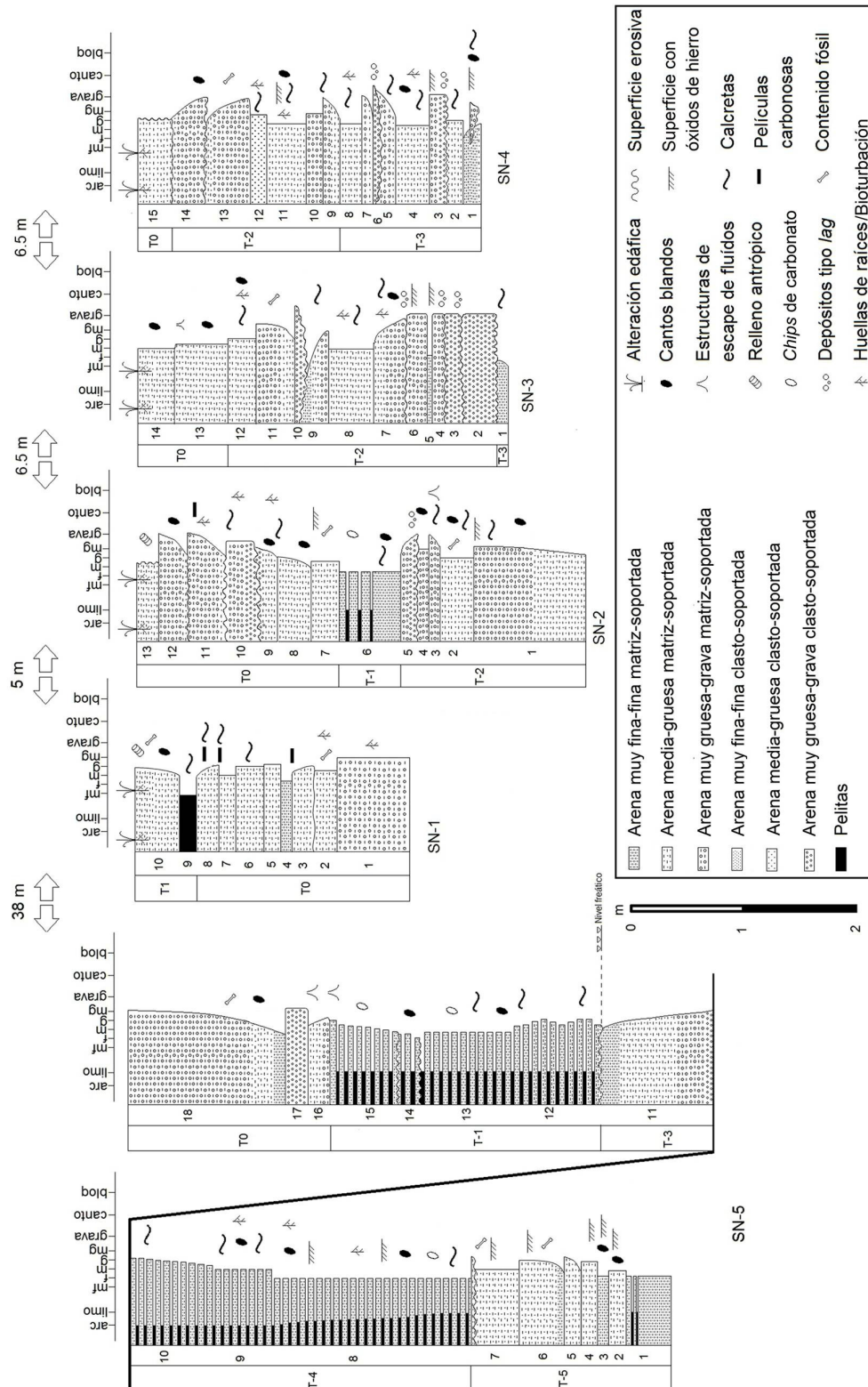


Figura 4.2- Columnas estratigráficas de los sondeos realizados en el área del yacimiento de Somosaguas (Modificado de Alonso-Torres *et al.*, enviado).

- (S-3) → Nivel de unos 18 cm de espesor, de pelitas arcillosas marrones de aspecto masivo, que en su mitad superior presentan un lentejón centimétrico de arenas muy finas con moteado de colores anaranjados por la presencia de óxidos de hierro.

- (S-4) → Nivel muy continuo, de unos 10 cm de espesor, de arenas micáceas de composición arcósica, de tamaño de grano muy fino a fino y color crema. La matriz es arcillosa y presenta una moderada-buena selección. Presenta grandes cosets de *ripples* trepadores que en algunas partes están ligeramente distorsionadas (Figura 4.4b).

- (S-5) → Nivel de pelitas marrones de unos 10 cm de espesor, bastante heterogéneo, que presenta una intercalación centimétrica de arenas rojizas, de morfología lenticular y que contiene *chips* de carbonatos removilizados. Su contacto con el nivel superior es mediante una superficie erosiva.

- (S-6) → Nivel de espesor variable entre los 35 y 40 cm. Su litología es de arenas micáceas, de tamaño de grano fino y color crema. La matriz es arcillosa y presenta una selección moderada. En la mitad inferior se distinguen *ripples* trepadores y estructuras de escape de fluidos, mientras que hacia techo se observa laminación paralela.

- (S-7) → Nivel muy homogéneo, de unos 25 cm de espesor, de pelitas marrones cuyo contacto con el nivel S-6 es neto. Presenta huellas de bioturbación por raíces de plantas.

- (S-8) → Nivel, de unos 35 cm de espesor, muy continuo de arenas micáceas, de tamaño de grano fino a medio y color crema. La matriz es arcillosa y hacia techo aumenta ligeramente su proporción, presentando una selección moderada. La laminación paralela es bastante difusa, en gran parte, debido a que se observa una clara disminución de las partículas micáceas.

- (S-9) → Nivel, de unos 15 cm de espesor, bastante continuo de pelitas de color marrón, que presenta pequeños niveles horizontales, verticales y oblicuos de carbonatos blancos que cortan irregularmente la estratificación. Hacia techo, y de forma gradual, disminuyen los granos de cuarzo y feldespatos englobados en las arcillas. Presenta huellas de bioturbación por raíces.

- (S-10) → Este último nivel del tramo T2, con un espesor que varía entre los 35 y 40 cm, tiene una litología de arenas micáceas de composición arcósica y color crema en la base, que se hace mas claro hacia el techo. El depósito es matriz-soportado, pobre e irregularmente cementado. Es granocreciente, de arenas de grano muy fino en la base y arenas de grano medio en el techo. Su contacto con el nivel inferior (S-9) se produce a través de una costra de carbonatos de poca continuidad lateral. Al igual que el resto de los niveles de arenas micáceas, los minerales principales son el cuarzo, los feldespatos, la biotita, y los minerales de la arcilla, siendo accesorios la moscovita y los óxidos de hierro. Este nivel presenta el mínimo contenido de micas negras (biotitas) de todo el tramo T2 en muestra de mano. Presenta moderada selección, con granos subangulosos y subredondeados y una estructura general masiva en la que hacia techo se distingue una laminación paralela muy difusa.

- (S-11) → Nivel de espesor variable cuyo contacto con S-10 se produce a través de una superficie irregular. Perteneció al tramo T3. Son arenas de tamaño de grano grueso, incluso gravas de tamaño fino, matriz-soportadas, de matriz arenoso-aleurítico-arcillosa (la matriz supone hasta un 70% del sedimento en algunas zonas) y de color crema. Presenta muy mala selección de tamaños. Los minerales principales son el cuarzo, los feldespatos y la biotita. La moscovita es un mineral accesorio y hay indicios de óxidos de hierro. Los clastos son subangulosos a subredondeados y sus tamaños muy variables, llegando a observarse cantos de cuarzo y fragmentos de roca centimétricos. El centil es de 6 cm. Los granos de mayor tamaño son de cuarzo y metacuarcita, siendo además los más angulosos. Algunos clastos de feldespatos presentan superficies de disolución visibles en muestra de mano. Los fragmentos de roca, poco abundantes, son de diversa naturaleza; granítica, pizarrosa, gnéisica y metacuarcítica. Este nivel presenta algunas láminas de carbonatos, de color blanquecino, de menos de 1 cm de espesor y de morfología irregular, que desaparecen lateralmente, y que cortan en todas direcciones la estratificación. Presenta contenido fósil de macrovertebrados.

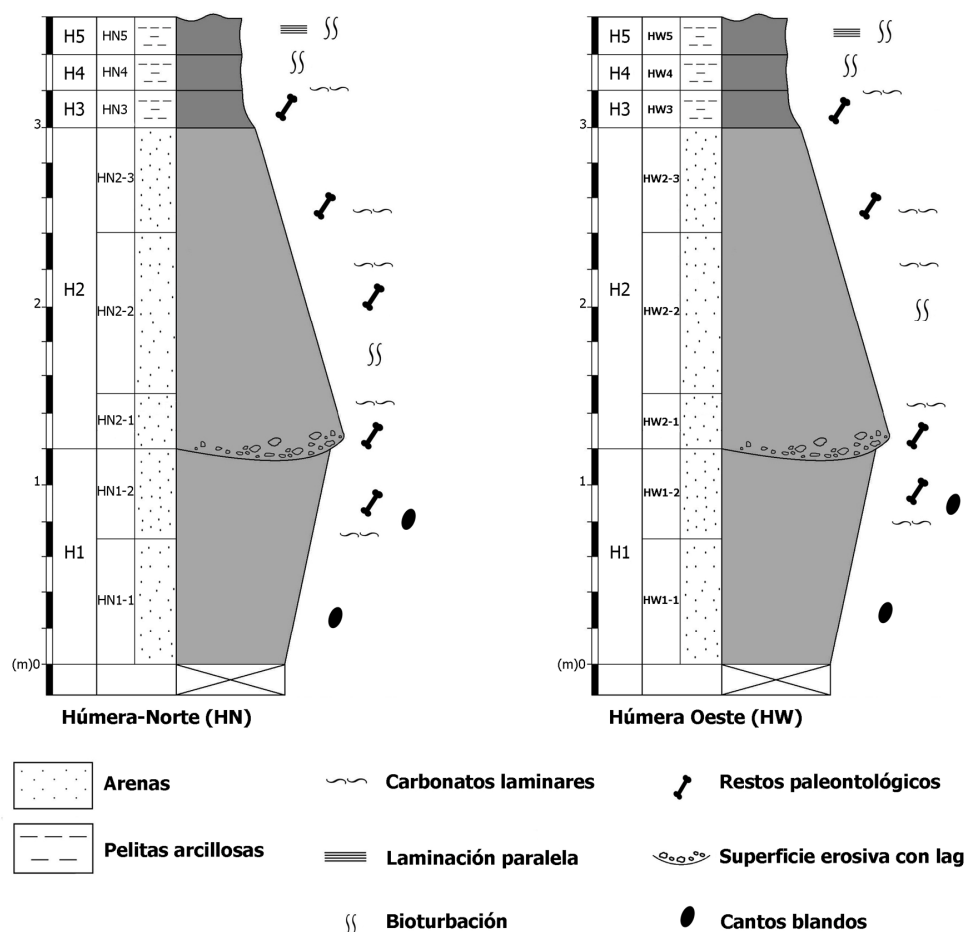


Figura 4.3- Columnas estratigráficas de los afloramientos del yacimiento de Húmera (Modificado de Menéndez Gamella *et al.*, 2010).

4.3- Columna de Somosaguas Tres

La cota máxima que alcanza es de 665,2 m. La descripción litológica de la columna se realiza de muro a techo de la sucesión (Figura 4.1) distinguiéndose los siguientes niveles:

- **(3-1)** → Único nivel diferenciable del tramo T1 en esta columna, con una potencia de unos 20 cm. La litología es de arenas de grano medio, matriz-soportadas y de color crema oscuro. La matriz es arcillosa y de forma gradual aumenta su contenido hacia techo del nivel, al mismo tiempo que disminuyen los cantos de mayor tamaño (arena gruesa). La selección es mala y los granos más gruesos son de cuarzo y feldespatos, subangulosos, acompañados de escasos fragmentos de roca de composición gnéssica y granítica. Es un nivel muy rico en fósiles de micromamíferos, aunque en la actualidad solo se realizan trabajos de obtención de sedimentos para el lavado-tamizado-triado en las columnas Sur (S-1 y S-1 α) y Norte (N-1).

- **(3-2)** → Nivel de 10 cm de pelitas arcillosas marrones, que en su mitad inferior es muy arenoso, y cuya base descansa en superficie ligeramente irregular sobre el nivel anterior. Es el primero de los diez niveles que definen la alternancia del tramo T2 en esta columna. Como el resto de niveles del tramo T2 no contiene fósiles.

- **(3-3)** → Nivel de unos 20 cm de espesor, lateralmente muy continuo, de arenas micáceas de composición arcósica, de tamaño de grano muy fino y color crema. La matriz es arcillosa y presenta una moderada-buena selección. Hacia la base presenta estructuras de escape de fluidos y hacia techo grandes cosets de *ripples* trepadores.

- **(3-4)** → Nivel bastante continuo, de unos 20 cm de espesor, de pelitas arcillosas marrones de aspecto masivo, que en su mitad superior presenta un lentejón centimétrico de arenas de grano muy fino que albergan cantos blandos arcillosos milimétricos de color marrón.

- **(3-5)** → Nivel de unos 12 cm cuya litología es de arenas micáceas de tamaño de grano muy fino a fino y color crema. La matriz es arcillosa y presenta una moderada-buena selección. Los *ripples* trepadores y los cantos blandos son observables en todo el nivel.

- **(3-6)** → Nivel muy homogéneo de unos 10 cm de pelitas arcillosas marrones que presenta abundantes signos de bioturbación por raíces de plantas.

- **(3-7)** → Nivel muy continuo, de unos 12 cm de espesor, de arenas micáceas de tamaño de grano muy fino a fino y color crema. La matriz es arcillosa y hacia el techo aumenta ligeramente su proporción. Presenta una moderada selección y se observan localmente estructuras de escape de fluidos y cantos blandos.

- **(3-8)** → Nivel bastante continuo de pelitas de color marrón, que presenta láminas de carbonatos blancos que cortan irregularmente y en todas direcciones la estratificación. Hacia el techo, y de forma gradual, disminuyen los granos de cuarzo y feldespatos.

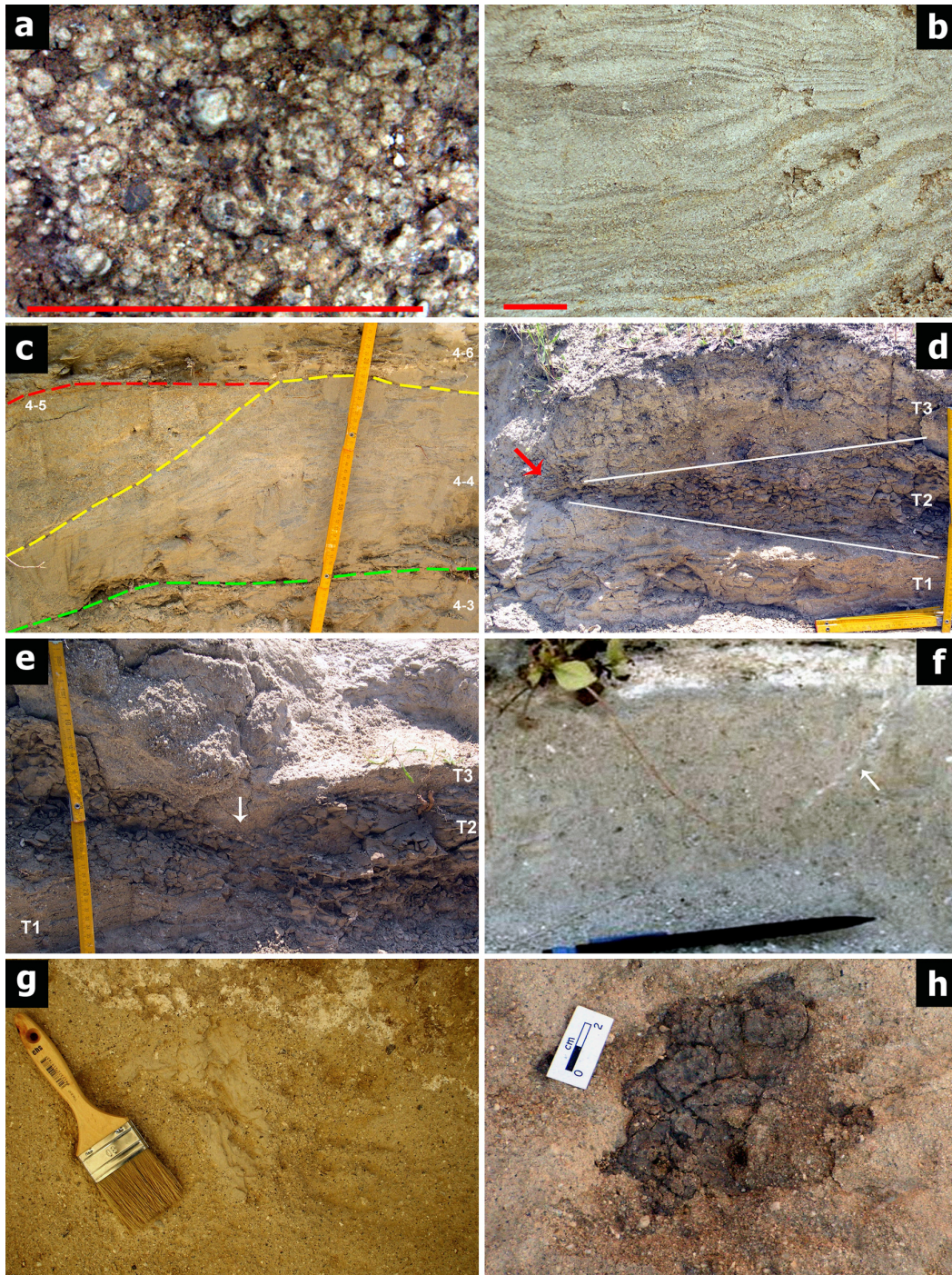


Figura 4.4- Imágenes de características en campo y muestras de mano de los afloramientos de Somosaguas: a) imagen bajo lupa binocular de un *chip* de carbonato con detriticos englobados en su interior; b) *ripples* trepadores ligeramente distorsionados; c) geometría y relaciones entre varios niveles de la columna Som-4; d) acuñaamiento del tramo T2 entre los tramos T1 y T3 en Som-Norte; e) contacto erosivo y adaptación hidrolástica en Som-Norte; f) carbonato laminar y algunas venas secundarias asociadas (flecha); g) pequeña “galleta” de arcillas ocreas y carbonatos blanquecinos; h) “galleta” de arcillas negruzcas. Las barras en (a) y (b) indican 2 cm.

- **(3-9)** → Es un nivel, de unos 18 cm de espesor, granocreciente de arenas micáceas de grano muy fino en la base y medio a techo, moderadamente seleccionado y color crema en la base que se hace mas claro hacia el techo. Al igual que el resto de los niveles de arenas micáceas, los minerales principales son el cuarzo, los feldespatos y la biotita, siendo accesorios las micas y los fragmentos de roca. En la mitad inferior se distinguen *ripples* trepadores, mientras que hacia techo se observa laminación paralela.

- **(3-10)** → Nivel bastante continuo y homogéneo de pelitas de color marrón. Presenta huellas de bioturbación por raíces. En algunas zonas presenta pequeñas manchas de color pardo rojizo, indicativas de posibles procesos de oxidación.

- **(3-11)** → Nivel de arenas micáceas de grano fino a medio, de un espesor variable entre 70 y 80 cm, que presenta una moderada selección de tamaños. El contacto con el nivel inferior se produce a través de una pequeña lámina blanquecina muy pulverulenta de carbonatos; otras láminas similares y de menor continuidad lateral están presentes en la mitad superior del nivel. La laminación es muy difusa en la base y algo mejor definida hacia techo. Es muy similar al resto de niveles de arenas micáceas con la salvedad de que presenta una clara disminución en el contenido de mica negra. Contiene hasta tres lentejones de unos 3-5 cm de limos marrones en su mitad inferior.

- **(3-12)** → Se considera como primer nivel del tramo T3 en esta columna. La litología es de arenas de grano grueso con matriz aleurítico-arcillosa, mala selección de tamaños y una granulometría ligeramente más fina que en S-11. Nivel de espesor lateralmente variable y forma canalizada, cuyo contacto con el nivel inferior se produce a través de una superficie erosiva, con estratificación cruzada de surco difusa. Su paso a 3-13 es gradual, culminando en un nivel milimétrico de carbonatos blanquecinos muy pulverulentos. No se han observado ni fósiles ni carbonatos laminares en su interior.

- **(3-13)** → Nivel de espesor lateralmente variable cuyo techo presenta unos 10 cm de tramo cubierto y alterado por la acción edáfica. Nivel de arenas arcósicas, de granulometría ligeramente variable en la vertical, de grano grueso a muy grueso con cantos dispersos. El depósito es matriz-soportado, mal seleccionado, con matriz arenoso-aleurítico-arcilloso (esta matriz en algunas zonas supone hasta un 70% del volumen del sedimento) y de color crema. Los minerales principales son el cuarzo y los feldespatos, con las micas como minerales accesorios. Se han observado algunos granos milimétricos de cuarzo lechoso muy idiomorfos y óxidos de hierro. Los granos son subangulosos y subredondeados y sus tamaños muy variables, llegando a observarse granos de cuarzo y metacuarcita centimétricos (centil de 8 cm). Los fragmentos de roca, poco abundantes, son de naturaleza granítica, pizarrosa, gnéisica y metacuarcítica. Se observan cantos blandos arcillosos y de arenas muy finas, así como láminas centimétricas de carbonatos de color blanquecino, de morfología irregular y que cortan en todas direcciones la estratificación. En ocasiones, las láminas de carbonatos, separan horizontalmente texturas diferentes. Está irregularmente cementado, con zonas totalmente desprovistas de cemento. Es un nivel fosilífero, cuyos fósiles aparecen con manchas irregulares de óxidos de manganeso, que en algunos casos recubren totalmente las esquirlas de fósiles de macrovertebrados.

4.4- Columna de Somosaguas Cuatro

La cota máxima que alcanza es de aproximadamente 665,7 m. La descripción litológica de la columna se realiza de muro a techo de la sucesión (Figura 4.1) distinguiéndose los siguientes niveles:

- **(4-1)** → Es el nivel basal del tramo T1 con una potencia de aproximadamente 40 cm. La litología es de arenas arcósicas de tamaño de grano medio, matriz-soportadas y de color crema oscuro. La matriz es aleurítico-arcillosa y de forma gradual aumenta su contenido hacia techo del nivel al mismo tiempo que disminuyen los granos de mayor tamaño (arena gruesa y muy gruesa). La selección es mala y los granos más gruesos son de cuarzo y feldespatos, subangulosos, acompañados de pocos fragmentos de roca de composición gnéssica y granítica. Contiene restos de fósiles de micromamíferos. Su base no es visible por estar cubierto por los escombros de las excavaciones y el pavimento.

- **(4-1 α)** → Nivel de unos 20 cm de espesor que define el techo del tramo T1. Es una pelita arcillosa, de color marrón amarillento, con mala selección de tamaños, siendo de granulometría más fina que el nivel inferior. Los granos más gruesos son de cuarzo y feldespato (tamaño arena media), generalmente subangulosos. Además, su contenido en fósiles es ligeramente superior al del nivel inferior.

- **(4-2)** → Primer nivel de los cinco que componen el tramo T2 en esta columna. Esta formado por unos 65 cm de arenas micáceas de composición arcósica, de tamaño de grano muy fino a fino y color crema. La matriz es arcillosa y presenta una moderada-buena selección. Los *ripples* trepadores y los cantos blandos se distinguen claramente hacia el muro, mientras que hacia techo hay signos de bioturbación por raíces. Presenta hasta cuatro intercalaciones centimétricas de pelitas arcillosas marrones lenticulares, principalmente en la mitad inferior.

- **(4-3)** → Nivel bastante continuo lateralmente, de unos 20 cm de potencia, de pelitas de color marrón, que presenta láminas de carbonatos blancos que cortan irregularmente y en todas direcciones la estratificación. Presenta huellas de bioturbación por raíces, tanto a techo como a base. Su contacto inferior se produce a través de una costra carbonatada laminar.

- **(4-4)** → Nivel de espesor lateralmente variable que pasa al nivel 4-5, hacia el Norte, de forma ligeramente erosiva. Su contacto con el nivel 4-3 es ondulante. La litología es de arenas micáceas, de tamaño de grano muy fino a fino y color crema. La matriz es arcillosa y presenta una moderada a buena selección. Se observan *ripples* trepadores en todo el nivel, y estructuras de escape de fluidos, signos de bioturbación por raíces y signos de oxidación hacia techo (Figura 4.4c).

- **(4-5)** → Nivel que se acuña lateralmente, hacia el Sur, entre 4-6 y 4-4, y que presenta un espesor máximo de 20 cm, con forma de pequeño canal. La litología es de arenas arcósicas de grano grueso con matriz aleurítica-arcillosa y color crema. Es un nivel granodecreciente, clasto-soportado en la base y matriz-soportado a techo, y con una

moderada selección de tamaños en la base que pasa a ser mala a techo. Los minerales principales son el cuarzo y los feldespatos, siendo las micas minerales accesorios. Los granos son subangulosos y subredondeados y de tamaño muy variable. Los granos de mayores tamaños (centil de 2 cm) son de cuarzo y metacuarcita, siendo además los más angulosos. Esta irregularmente cementado y en general es un nivel mas limpio, es decir, en muestra de mano presenta una menor proporción de matriz arcillosa, que otros niveles similares en T1 y T3 (Figura 4.4c).

- **(4-6)** → Pequeño nivel de pelitas marrones muy homogéneas que pone fin a las alternancias litológicas del tramo T2, con cierto aumento del contenido en granos de cuarzo y feldespatos en su contacto con 4-7. Su base esta en contacto con el nivel 4-4, hacia el Sur, y con el 4-5, hacia el Norte. Presenta signos de bioturbación por raíces en su mitad superior.

- **(4-7)** → Nivel de espesor lateralmente variable cuyo contacto con el nivel inferior (4-6) se produce a través de una superficie erosiva y su paso al nivel 4-8 es gradual. Es el primer nivel del tramo T3 en esta columna con un espesor medio de 16 cm. La litología es de arenas de tamaño de grano grueso con matriz aleurítico-arcillosa, con granulometría algo menor que 4-8 y una relativa mejor selección de tamaños. Su mineralogía en campo es similar al 4-8, pero no se observan ni fósiles ni carbonatos laminares. La laminación paralela es poco clara y el contenido en micas mucho menor que los niveles arenosos inferiores. Es muy parecido al nivel 3-12 de la columna Som-3.

- **(4-8)** → Nivel de unos 125 cm de espesor, variable lateralmente, cuyo techo presenta unos 15 cm cubiertos por el desarrollo del nivel edáfico y su base un nivel muy irregular de carbonatos laminares de composición calcítica. La litología es de arenas de tamaño muy grueso y gravas de cantos pequeños y matriz arenoso-aleurítico-arcillosa de color crema. Es matriz-soportado, con mucha cantidad de matriz (entre un 60 y un 75%), mala selección y cementación irregular. Es un nivel a grandes rasgos granocreciente aunque parece presentar algunas variaciones internas. Los minerales principales son el cuarzo y los feldespatos, siendo las micas y los fragmentos de roca accesorios. Los granos son subangulosos y subredondeados y sus tamaños muy variables (centil de 7 cm). Aparecen cantos blandos en todo el nivel y presenta carbonatos laminares de tamaño centimétrico y morfología irregular, que cortan en todas direcciones la estratificación. Es un nivel fosilífero, cuyos fósiles aparecen con pátinas de óxidos de manganeso.

4.5- Columna de Somosaguas Norte

La cota máxima que alcanza en el punto donde se ha realizado la columna (zona más al Sur de las cuadrículas, ver Figura 3.1) es de 666,0 m, aunque en las primeras cuadrículas, más al Norte, la cota es de 666,7 m. La descripción litológica de la columna se realiza de muro a techo de la sucesión (Figura 4.1) distinguiéndose los siguientes niveles:

- **(N-1)** → Es el mejor afloramiento del tramo T1 en el área de las excavaciones y presenta un espesor de 95 – 110 cm. No se observa la base de este nivel por lo que el espesor total del tramo T1 sería superior al metro de potencia. La litología es de arenas de

grano grueso con cantos de pequeño tamaño dispersos, con esqueleto soportado por una matriz aleurítica-arcillosa, y con un aumento gradual hacia techo del contenido en arcillas y disminución de los cantos de mayor tamaño. Presenta color crema oscuro y mala selección de tamaños, con granos de cuarzo angulosos y subangulosos y el resto de los minerales subredondeados y subangulosos. Los fragmentos de roca son muy escasos, y en general, son de granitos alterados, gneises y pizarras. También se distinguen chips de carbonatos removilizados, similares a los observados en el nivel S-1. En su base se llegan a distinguir cantos blandos de tamaño centimétrico. Se trata de un nivel muy rico en fósiles de microvertebrados.

- **(N-1 α)** → Nivel del tramo T1 situado a techo de N-1, con un espesor medio de 5 cm. Es una pelita de color marrón amarillento y pequeñas manchas ocre-rojizas. Los granos mas abundantes son de cuarzo y feldespatos, subredondeados y subangulosos. Los minerales accesorios son micas y óxidos de hierro. Los fragmentos de roca, de composición granítica y gnéisica, son muy escasos. Además, contiene abundantes restos de fósiles de micromamíferos extraídos principalmente en la zona denominada Som-5.

- **(N-2)** → Nivel de espesor lateralmente variable, que se acuña hacia el Norte entre los niveles N-1 y N-4. Junto con N-3 representa la última presencia del tramo T2 hacia el Norte del yacimiento (Figura 4.4d). La litología es de pelitas marrones cuyo techo es bastante irregular. Hacia el muro se vuelve mas rojiza por oxidación y hacia el techo presenta un aumento en el contenido en arena de grano fino y medio.

- **(N-3)** → Nivel que se acuña hacia el Norte entre N-1 y N-4. La litología es de arenas micáceas de composición arcósica, de tamaño de grano fino y color crema. La matriz es arcillosa y presenta una buena selección, con granos de cuarzo y feldespatos subangulosos y subredondeados. Los *ripples* trepadores, los cantos blandos y los fragmentos de roca se observan en todo el nivel. Se puede observar una marca de adaptación del sedimento a un esfuerzo o una estructura hidrolástica (Figura 4.4e).

- **(N-4)** → Nivel de espesor lateralmente variable (260-320 cm), que en el punto exacto de realización de la columna tiene 280 cm, cuyo techo presenta unos 5-10 cm de tramo cubierto por suelo y vegetación, y cuya base se pone en contacto con el nivel inferior (N-3) a través de una superficie erosiva, con estratificación cruzada de surco hacia el Sur y por superficie erosiva hacia el Norte (N-1 α). La litología es de arenas arcósicas de tamaño de grano grueso y gravas de tamaño pequeño, con matriz aleurítico-arcillosa de color crema. Es un depósito matriz-soportado y presenta mala selección. Es un nivel de granulometría variable, y como ya se indicó en el capítulo 3, tiene variaciones del contenido fósil en la vertical (Élez, 2005). Los minerales principales son el cuarzo y los feldespatos, siendo las micas y los óxidos de hierro minerales accesorios. Se han obtenido dos granos de tamaño milimétrico de cuarzoes rojos idiomorfos (¿Jacinto de Compostela?). Los granos son subangulosos y subredondeados y sus tamaños muy variables, llegando a observarse granos de cuarzo y metacuarcita centimétricos (centil de 10 cm). Los fragmentos de roca suponen un 5-10% (granitos, pizarras, gneises y metacuarcitas). Aparecen cantos blandos, tanto de arcillas marrones como de arenas micáceas de grano muy fino, en todo el nivel, presentando también niveles centimétricos de láminas de carbonatos de morfología

irregular, más abundantes hacia techo. En este caso las láminas de carbonatos más potentes están bastante horizontalizadas (Figura 4.4f), y presentan algunas láminas menores que las unen oblicuamente. Está irregularmente cementada, con zonas completamente desprovistas. Además, presenta varios subniveles de muy poco espesor (entre pocos milímetros y 3 cm), de morfología lenticular o irregular y muy poca extensión lateral, de arcillas, unas de color crema y otras de color marrón muy oscuro (Figuras 4.4g-h). Se observan canales de pocos centímetros con arenas arcósicas moderadamente seleccionadas. Las láminas de carbonatos horizontales y las arcillas negruzcas suelen separar texturas y estados de cementación diferentes, que a grandes rasgos coinciden con las variaciones de contenido fosilífero observadas por Élez (2005).

4.6- *Columna de Somosaguas Seis*

La cota máxima que alcanza es de aproximadamente 668,5 m. Fue en niveles algo inferiores a esta columna donde se observaron los primeros restos fósiles hallados en el área de Somosaguas, pero actualmente un muro de contención impide ver esos niveles (Cuevas-González, 2005b). La descripción litológica de la columna, de unos 110 cm, se realiza de muro a techo de la sucesión (Figura 4.1) distinguiéndose los siguientes niveles:

- **(6-1)** → Nivel de 10 cm de pelitas de color ocre claro, muy masivas y sin estructuras sedimentarias ni contenido paleontológico. Presenta dos niveles arenosos de grano muy fino a fino en su interior.

- **(6-2)** → Con una potencia de 40 cm, es un nivel arenoso micáceo, de color crema, más compacto y ligeramente menos micáceo, o con micas de menor tamaño, que los descritos en las cuatro columnas del área de excavaciones. En su interior presenta algunas zonas muy enriquecidas en micas con granos de biotita de hasta 1 mm. Son arenas de grano fino y muy fino, moderadamente seleccionadas, y con una matriz arcillosa. No se ha observado contenido paleontológico ni estructuras sedimentarias, aunque hacia el techo se intuye una tenue laminación paralela. Hacia su base presenta cantos blandos de arcillas de color ocre claro.

- **(6-3)** → Nivel de pelitas de color ocre claro, de 10 cm de potencia, en el punto de muestreo, y variable lateralmente. Hacia la mitad del nivel se observan dos pequeños niveles de hasta un centímetro de potencia de carbonatos laminares irregulares. No se han observado ni estructuras sedimentarias ni restos paleontológicos.

- **(6-4)** → Nivel de arenas micáceas de grano fino, moderadamente seleccionadas, con micas de tamaño algo mayor que en 6-2 y estructuras ondulantes que no llegan a ser claramente *ripples* trepadores como las que se observan en el área de las excavaciones. Presenta granos de cuarzo y feldespatos de tamaño medio, muy dispersos, así como cantos blandos de arcillas ocre. Es un nivel de espesor lateral variable, aunque en la zona donde se ha realizado la columna presenta un espesor de unos 20 cm. Hacia techo se observa un nivel de 5 milímetros de arcillas color ocre claro muy continuo. No se han obtenido restos paleontológicos.

- (6-5) → Nivel de unos 15 cm de arenas de grano fino y medio que tienen cantos dispersos de hasta 4 mm de tamaño, correspondientes, en general, a feldespatos y cuarzos. Es de composición arcósica, matriz-soportada de matriz arcillosa, y mal seleccionada. No se observan estructuras sedimentarias ni restos fósiles. Hacia techo presenta niveles irregulares y de espesor variable (máximo de 3 cm) de carbonatos laminares que dan paso al siguiente nivel.

- (6-6) → Nivel con una potencia aproximada de 15 cm que presenta una litología de arenas arcósicas de tamaño de grano medio y grueso con matriz aleurítico-arcillosa y mala selección. Presenta cantos de cuarzo, feldespatos y en mucha menor cantidad de fragmentos de roca granuda, bastante alterados. Nivel compactado y con gran cantidad de carbonatos laminares de entre pocos milímetros y dos centímetros, muy irregulares y de poca continuidad lateral. Se observan raíces y porosidad “móldica” de los huecos dejados por las raíces. En su techo se mezcla con niveles retocados por la acción edáfica actual.

4.7- Columna de Somosaguas Siete

La cota máxima que alcanza es de aproximadamente 675,2 m. La descripción litológica de la columna, de unos 90 cm, se realiza de muro a techo de la sucesión (Figura 4.1) distinguiéndose los siguientes dos niveles:

- (7-1) → nivel de unos 50 cm de potencia compuesto por arenas de grano fino y medio, matriz-soportadas y mal seleccionadas, que no presentan estructuras sedimentarias ni restos de fósiles. Se observan algunos pequeños niveles irregulares o lenticulares de poca extensión lateral y menos de 2 cm de espesor de pelitas arenosas. Tienen micas negras en todo el nivel pero menos abundantes y más pequeñas que las observadas en la columna Somo-6.

- (7-2) → Aproximadamente 40 cm de arenas arcósicas muy similares a los del nivel anterior, que están más compactadas y algo peor seleccionadas, observándose clastos dispersos de hasta 6 mm. Aunque no se observan estructuras sedimentarias en la mitad inferior sí se intuye una laminación muy difusa. No se han observado restos paleontológicos y hacia su techo aparecen algunos niveles milimétricos de carbonatos laminares de morfología irregular.

4.8- Columna del Sondeo SN-1

Se trata de un sondeo del que se han extraído 245 cm de testigo continuo. La cota máxima que alcanza es de aproximadamente 664,5 m. La descripción litológica de la columna se realiza de muro a techo de la sucesión (Figura 4.2) distinguiéndose los siguientes niveles:

- (SN-1-1) → 70 cm de arenas de grano muy grueso, con cantos dispersos hacia el techo, matriz-soportadas y bien consolidadas con una matriz arcillosa de color crema. Presentan una mala selección y los granos predominantes son de cuarzo y feldespato, subangulosos, acompañados de fragmentos de roca pizarrosa, gnéisica y granítica. Se observan signos de

bioturbación por raíces en la mitad superior. No se han observado restos de fósiles. Pertenece al tramo T0.

- (SN-1-2) → 20 cm de arenas de grano grueso. Es un nivel matriz-soportado de color crema muy similar al anterior. La matriz es aleurítico-arcillosa. La selección de tamaños es mala y los granos predominantes son similares al nivel anterior. Se ha obtenido una esquirla indeterminada de 7 mm de eje largo, muy angulosa y de color blanquecino con pátina de óxido de manganeso negruzca en un lateral. Alrededor de la esquirla aparecen huellas de raíces de plantas. El contacto con el nivel inferior es neto y con el superior ligeramente ondulante. Pertenece al tramo T0.

- (SN-1-3) → Nivel de 20 cm granodecreciente de arenas de grano grueso en la base y medio en el techo. Es matriz-soportado, de color crema, presenta una mala selección de tamaños, y los granos predominantes son similares a los de los niveles inferiores. Su base es ligeramente erosiva sobre el nivel anterior. Pertenece al tramo T0.

- (SN-1-4) → 10 cm de arenas de tamaño de grano fino con algunos clastos de tamaño medio o grueso muy dispersos. Está moderadamente seleccionada y es matriz-soportada. La matriz de color crema es predominantemente arcillosa. En su contacto con el nivel inferior aparece una película carbonosa milimétrica e irregular. No se han observado restos de fósiles ni estructuras sedimentarias. Pertenece al tramo T0.

- (SN-1-5) → 15 cm de arenas de grano grueso, mal seleccionadas, matriz-soportadas con matriz aleurítico-arcillosa. Su color es ocre claro y no se observan estructuras sedimentarias. Presenta contacto neto con el nivel inferior y superior y no se han observado restos paleontológicos. Pertenece al tramo T0.

- (SN-1-6) → 25 cm de arenas de tamaño de grano medio y grueso. Es un nivel matriz-soportado con matriz aleurítica-arcillosa de color crema y que presenta contacto neto con los niveles inferior y superior. La selección de tamaños es mala y los granos predominantes son cuarzos, feldespatos y cantos de hasta 5 mm de fragmentos de roca granuda. A mitad del nivel presenta una lámina de unos 3 cm de espesor de carbonato pulverulento blanquecino-rosáceo. Hay otras láminas muy finas y oblicuas de carbonatos asociados a esta lámina carbonatada de mayor tamaño. Pertenece al tramo T0.

- (SN-1-7) → Nivel de 15 cm de arenas de tamaño de grano medio, moderadamente seleccionadas y matriz-soportadas. La matriz de color ocre claro es predominantemente arcillosa. En su contacto con el nivel superior presenta una película carbonosa milimétrica e irregular y un pequeño nivel de carbonato laminar. Desde la mitad del nivel empieza a estar algo más alterada y muy fracturada. No se han observado estructuras sedimentarias ni restos de fósiles. Pertenece al tramo T0.

- (SN-1-8) → Nivel de 20 cm con gradación normal de arenas de grano grueso a arenas de grano medio. Muy mal seleccionado y con alto contenido en matriz aleurítico-arcillosa. Su color crema en algunas zonas es más blanquecina por la presencia de pequeñas láminas

de carbonato y en otras pasa a colores grisáceos por la presencia de materia carbonosa. No se han observado fósiles ni estructuras sedimentarias. Pertenece al tramo T0.

- (SN-1-9) → Nivel de 20 cm de pelitas de color ocre, moderadamente seleccionadas, con cantos dispersos de arenas de grano medio (Figura 4.5a). El contacto con los niveles infra y suprayacentes es neto. Hacia el techo presenta pequeñas láminas irregulares de carbonato blanquecinas. No se han observado restos de fósiles ni estructuras sedimentarias. Pertenece al tramo T1.

- (SN-1-10) → Nivel de 30 cm de arenas de grano medio que gradan a grueso, mal seleccionadas y matriz-soportadas. La matriz, de color marrón oscuro, es arcillosa. Se ha obtenido un resto paleontológico en muy mal estado de conservación, aunque no es descartable que sea un nivel fosilífero ya que esta y otras características la asemejan al tramo T1, que es fosilífero en el resto de columnas descritas. Se ha observado algún pequeño canto blando y a techo presenta claros signos de alteración edáfica y antrópica.

4.9- Columna del Sondeo SN-2

Esta columna fue descrita de una forma superficial por Díez-Canseco (2011), sin embargo en este trabajo detallaremos el nivel de caracterización basándonos en las columnas presentadas por Alonso-Torres *et al.* (enviado). Se trata de un sondeo del que se han extraído 410 cm de testigo continuo. La cota máxima que alcanza es de aproximadamente 664,2 m. La descripción litológica de la columna se realiza de muro a techo de la sucesión (Figura 4.2) distinguiéndose los siguientes niveles:

- (SN-2-1) → 100 cm de arenas de grano grueso que gradan a muy grueso hacia el techo. Son matriz-soportadas, bien consolidadas por una matriz arcillosa de color marrón oscuro y mal seleccionadas. Los granos predominantes son de cuarzo y feldespato, en general subangulosos y acompañados de fragmentos de roca pizarrosa y granítica. Se observan cantos blandos y pequeñas láminas de carbonatos, más abundantes hacia techo. No se han observado restos paleontológicos. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-2-2) → 30 cm de arenas de grano grueso que se ponen en contacto neto con el nivel anterior mediante una zona milimétrica enrojecida por óxidos de hierro. Son matriz-soportadas con una matriz arcillosa de color marrón claro. Los granos predominantes son de cuarzo y feldespato subangulosos. Presentan una mala selección de tamaños y se observan cantos blandos y pequeñas láminas de carbonatos más abundantes hacia muro. Se ha obtenido una pequeña esquirla de fósil indeterminada, que presenta bordes angulosos y color blanquecino. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-2-3) → 10 cm de arenas de grano muy grueso que pasan insensiblemente a gravas matriz-soportadas con una matriz arenoso-aleurítico-arcillosa de color ocre parduzco. Los granos predominantes son de cuarzo y feldespato subangulosos y subredondeados. Presentan una mala selección de tamaños y se observan estructuras de fluidificación o de escape de fluidos y láminas milimétricas de carbonatos. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-2-4) → 15 cm de arenas de grano muy grueso matriz-soportadas. La matriz aleurítico-arcillosa es de color crema oscuro. Los granos predominantes son de cuarzo y feldespato subangulosos y subredondeados. Presentan una mala selección de tamaños y se observan pequeños cantos blandos de arcillas ocre deformados. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-2-5) → 15 cm de gravas clasto-soportadas en la base que gradan a arenas de grano muy grueso matriz-soportadas hacia el techo. La matriz es arenoso-arcillosa de color ocre. La base es erosiva y sobre ésta aparece un depósito tipo *lag* de cantos de mayor tamaño de cuarzo y metacuarcita. Los granos predominantes son de cuarzo y feldespato subangulosos y subredondeados y que en ocasiones presentan pátinas de óxidos de hierro. Presentan una mala selección de tamaños y se ha asignado al tramo T-2.

- (SN-2-6) → 40 cm de arenas de grano fino, matriz-soportadas y moderadamente seleccionadas, con pocas micas que alcanzan hasta 1mm de tamaño. Contiene 3 niveles de unos 2-3 cm de pelitas (limoso arcillosas) intercalados en su mitad superior. Las arenas son de colores crema, mientras que los niveles pelíticos son de color marrón claro. Antes de la intercalación de los niveles más pelíticos aparece un nivel de carbonato laminar de unos 3 cm de espesor. En los niveles arenosos se han observado cantos blandos y *chips* de carbonato. No se han observado restos de fósiles. Pertenece al tramo T-1.

- (SN-2-7) → 30 cm de arenas de grano grueso con cantos de arena muy gruesa y grava dispersos, de composición cuarzo, feldespato alterado, granito muy alterado y metacuarcita. Las arenas presentan colores ocre claro, y son matriz-soportadas y mal seleccionadas, con una matriz aleurítico-arcillosa (Figura 4.5b). Se observan cristales de micas incoloras o ligeramente blancas de hasta 5 mm. Se han observado dos esquirlas milimétricas de fósiles. Pertenece al tramo T0.

- (SN-2-8) → 45 cm de arenas de grano medio que gradan a grueso. Su contacto con el nivel inferior es mediante una superficie enrojecida por óxidos de hierro y con la superior mediante un nivel de carbonatos laminares de 2 cm. Es matriz-soportada con matriz aleurítico-arcillosa, aunque hacia techo presenta localmente textura grano-soportada. Esta mal seleccionada, presenta abundantes cantos blandos de arcillas marrones hacia muro y presenta un color general crema. Pertenece al tramo T0.

- (SN-2-9) → 15 cm de arenas de tamaño grueso que pasa a muy grueso en el techo. Su contacto es neto con el nivel inferior y mediante una superficie de erosión con la superior. Es matriz-soportada de matriz principalmente aleurítica, aunque hacia techo presenta localmente textura clasto-soportada. Esta mal seleccionada, presenta abundantes cantos blandos de arcillas marrones hacia muro y signos de bioturbación por raíces de plantas. Pertenece al tramo T0.

- (SN-2-10) → Nivel de 30 cm de arenas de tamaño muy grueso clasto-soportadas que pasan a matriz-soportadas hacia el techo (Figura 4.5c). Su contacto es erosivo con los niveles infra y suprayacentes. Esta mal seleccionada, presenta signos de bioturbación por raíces de plantas y un nivel centimétrico de carbonatos laminares hacia techo. Pertenece al tramo T0.

- (SN-2-11) → Nivel de 35 cm de arenas de grano grueso matriz-soportadas que pasan a gravas matriz-soportadas a techo. Su contacto es erosivo con los niveles infra y suprayacentes. Esta mal seleccionada, y presenta películas carbonosas y signos de bioturbación. Pertenece al tramo T0.

- (SN-2-12) → Nivel de 25 cm de arenas de tamaño grueso, de color marrón claro, matriz-soportadas que gradan hacia techo a gravas matriz-soportadas, con algunos cantos de más de 1 cm y cantos blandos de arcillas ocre. Su contacto es erosivo con el nivel infrayacente y neto con el superior. Esta mal seleccionada y pertenece al tramo T0.

- (SN-2-13) → Nivel de 20 cm de arenas, marrón oscuro, de tamaño de grano medio y grueso, matriz-soportadas y mal seleccionadas (Figura 4.5d), que presentan cantos de hasta 5 cm (metacuarcita, cuarzo y feldespato) y claros signos de alteración edáfica y antrópica hacia techo. En su mitad inferior se observan micas de hasta 2 mm. No se han observado restos de fósiles ni estructuras sedimentarias. Pertenece al tramo T0.

4.10- Columna del Sondeo SN-3

Se trata de un sondeo del que se han extraído 330 cm de testigo continuo. La cota máxima que alcanza es de aproximadamente 663,8 m. La descripción litológica de la columna se realiza de muro a techo de la sucesión (Figura 4.2) distinguiéndose los siguientes niveles:

- (SN-3-1) → 10 cm de arenas de grano muy fino que gradan a fino hacia el techo. Son matriz-soportadas y bien consolidadas por una matriz arcillosa de color crema oscuro. Los granos predominantes son de cuarzo, feldespato y micas negras muy finas. Presentan una moderada selección de tamaños y se observan láminas de carbonatos milimétricas, más abundantes hacia techo. No se han observado fósiles. Pertenece al tramo T-3.

- (SN-3-2) → 30 cm de arenas de grano grueso y gravas clasto-soportadas. La escasa matriz es de color marrón oscuro. Los granos predominantes son de cuarzo, feldespato y metacuarcitas. Presentan una moderada selección de tamaños y se observan contactos erosivos con los niveles inferior y superior (Figura 4.5e). Pertenece al tramo T-2.

- (SN-3-3) → 15 cm de arenas de grano muy grueso y gravas clasto-soportadas, de color gris claro (Figura 4.5f). Los granos predominantes son de cuarzo, metacuarcitas, feldespatos y fragmentos de granitos. Presentan una mala selección de tamaños y se observa que sobre el contacto erosivo de la base se ha depositado un *lag* de cantos de cuarzo, metacuarcita y fragmentos de granito rojizo con tamaños de entre 1 y 4 cm. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-3-4) → 10 cm de arenas de grano muy grueso y gravas, matriz-soportadas, con matriz aleurítico-arcillosa de color pardo oscuro. Los granos predominantes son de cuarzo y feldespato. Presentan una mala selección de tamaños y se observa que sobre el contacto erosivo de la base se ha depositado un *lag* de cantos de cuarzo, metacuarcita y granito con tamaños de entre 1 y 3 cm. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-3-5) → 5 cm de arenas de grano muy fino a fino, matriz-soportadas, con matriz arcillosa de color ocre parduzco y superficies con óxidos de hierro. Presentan una moderada selección de tamaños y se observa una importante microfracturación del nivel. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-3-6) → Nivel de 20 cm de arenas de grano muy grueso matriz-soportadas, con matriz aleurítico-arcillosa de color pardo oscuro. Los granos predominantes son de cuarzo y feldespato. Presentan una mala selección de tamaños y se observan superficies con óxidos de hierro hacia el techo. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-3-7) → Nivel con gradación normal de 30 cm de gravas que pasan a arenas de grano grueso. Son depósitos matriz-soportados, de matriz arenoso-aleurítico-arcillosa de color marrón oscuro. Los granos predominantes son de cuarzo, feldespato y metacuarcitas, subangulosos a subredondeados. Presentan una mala selección de tamaños y se observa que sobre el contacto erosivo de la base se ha depositado un *lag* de cantos de cuarzo, metacuarcita y granito con tamaños de entre 1 y 3 cm. Hacia la parte media se ven abundantes cantos blandos milimétricos de arcillas parduzcas que han sufrido cierta deformación y hacia techo hay láminas milimétricas de carbonatos y signos de bioturbación por raíces. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-3-8) → Nivel de 40 cm de arenas de grano medio. Son matriz-soportadas, de matriz aleurítico-arcillosa de color marrón oscuro. Los granos predominantes son de cuarzo y feldespato, subangulosos y subredondeados. Presentan una mala selección de tamaños y se observan contactos netos con los niveles infra y suprayacentes. Hacia la parte media se ven láminas milimétricas de carbonatos y signos de bioturbación por raíces. No se han obtenido fósiles de este nivel. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-3-9) → Nivel de 25 cm de arenas de grano muy grueso con cantos dispersos que gradan a arenas de grano muy fino y pelitas con granos de arenas gruesas. Son matriz-soportados, de matriz aleurítico-arcillosa de color crema grisáceo. Los granos predominantes son de cuarzo y feldespato, subangulosos. Presentan una mala selección y se observa una lámina centimétrica de carbonatos hacia el techo (Figura 4.5g). No se han obtenido fósiles de este nivel. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-3-10) → Nivel de espesor variable, y morfología irregular, de gravas y arenas de tamaño de grano muy grueso, poco consolidadas, mal seleccionadas y clasto-soportadas. Los granos predominantes son de cuarzo, metacuarcita y gneises. No se han obtenido fósiles de este nivel. Su base erosiva y con cantos de hasta 3 cm podría ser indicativa de un nivel canalizado. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-3-11) → Nivel de 35 cm de arenas de grano grueso que gradan a arenas de grano muy grueso con cantos dispersos. Es matriz-soportado, de matriz aleurítico-arcillosa de color pardo oscuro y mal seleccionado. Los granos predominantes son de cuarzo y feldespatos. Se ha obtenido un resto fósil indeterminado de 2 cm de largo y de bordes redondeados. Pertenece al tramo T-2.

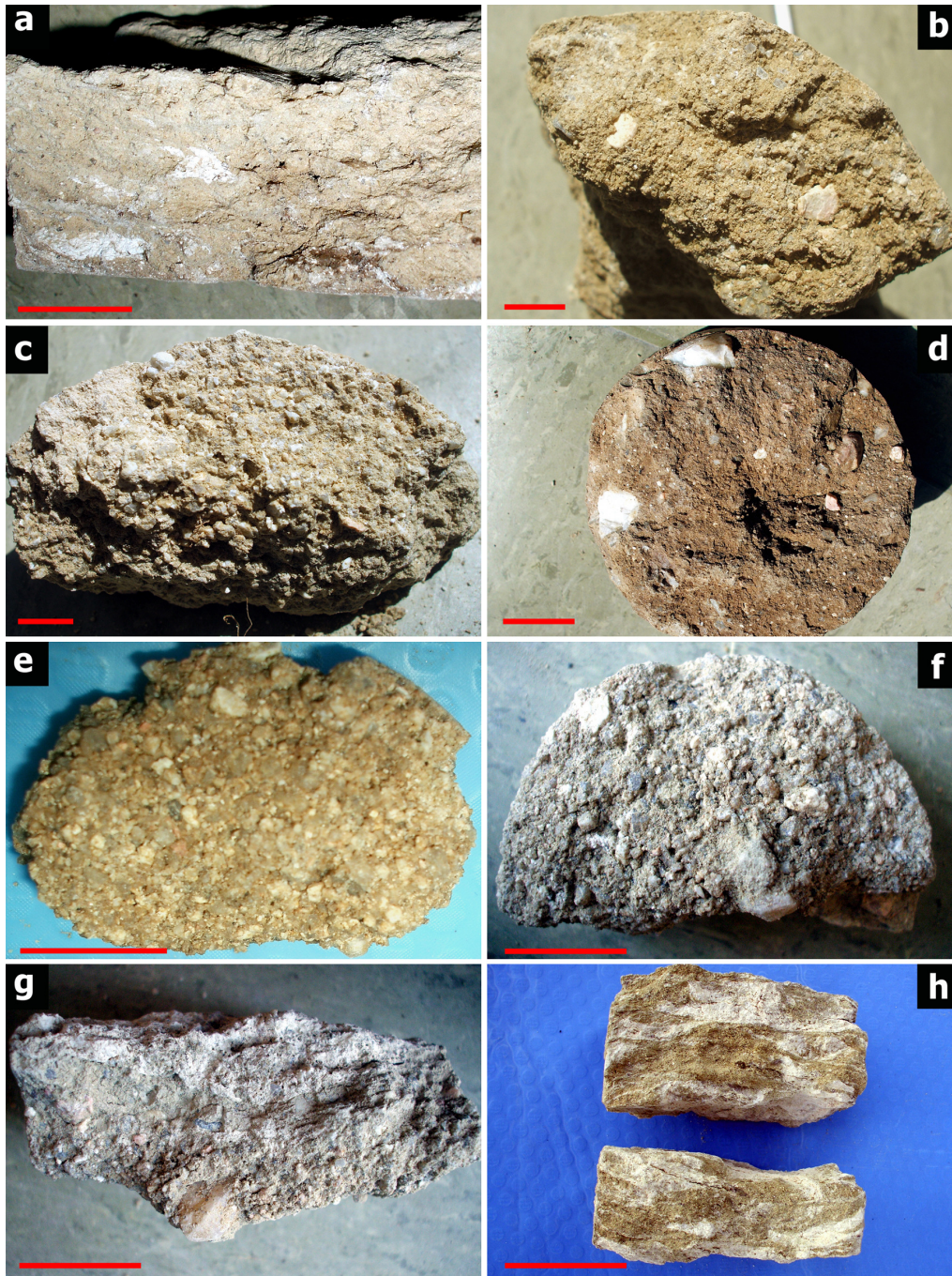


Figura 4.5- Imágenes de características en muestra de mano de diferentes niveles definidos en los sondeos del yacimiento de Somosaguas: a) pelita ocre del nivel SN-1-9; b) arenas de grano grueso con gravas del nivel SN-2-7; c) arenas clasto-soportadas del nivel SN-2-10; d) arenas marrones con gravas del nivel SN-2-13; e) arenas ocre clasto-soportadas del nivel SN-3-2; f) arenas grises clasto-soportadas del nivel SN-3-3; g) gradación de arenas a pelitas del nivel SN-3-9; h) enrejado de carbonatos en el nivel SN-3-12. Las barras de escala indican 2 cm.

- (SN-3-12) → Nivel de 25 cm de arenas de grano medio con un “enrejado” de laminas milimétricas de carbonatos (Figura 4.5h), que aumentan hacia el techo. Es matriz-soportado, de matriz arcillosa de color ocre verdoso claro. Presenta mala selección y no se han observado restos paleontológicos. Se observan abundantes cantos blandos milimétricos de arcillas marrones y signos de bioturbación por raíces. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-3-13) → Nivel de 50 cm de arenas de grano medio y grueso, matriz-soportadas, de matriz arcillosa de color marrón oscuro (Figura 4.6a), y muy mal seleccionadas. Contienen granos dispersos de tamaño muy grueso y cantos de hasta 6 cm. Los granos predominantes son de cuarzo y feldespato, subangulosos. Se ha obtenido un grano de cuarzo idiomorfo y de color rojizo (Figura 4.6b). Hacia el techo del nivel aparecen signos de fluidificación o estructuras de escape de fluidos, y hacia la parte media se observan cantos blandos de arcillas de color marrón claro. Pertenece al tramo T0.

- (SN-3-14) → 30 cm de arenas de grano medio, matriz-soportadas con matriz aleurítico-arcillosa, con clastos dispersos de arena de grano grueso, muy grueso y cantos. Los granos predominantes son de cuarzo y feldespato, subangulosos y la coloración general del nivel es crema oscuro. Presenta una muy mala selección de tamaños y hacia el techo son abundantes los cantos blandos de arcillas marrones. Hacia su base son muy abundantes las micas de tamaños muy variados y colores desde negro, marrón y dorado (presumiblemente biotitas) hasta plateado y blanco (presumiblemente moscovitas). Hacia techo se hacen patentes las alteraciones debidas al desarrollo edáfico. Pertenece al tramo T0.

4.11- Columna del Sondeo SN-4

Se trata de un sondeo del que se han extraído 310 cm de testigo continuo. La cota máxima que alcanza es de 663,3 m. La descripción litológica de la columna se realiza de muro a techo de la sucesión (Figura 4.2) distinguiéndose los siguientes niveles:

- (SN-4-1) → Nivel de 15 cm de arenas de grano medio y grueso que gradan a fino, matriz-soportadas y mal seleccionadas, que presentan una matriz arcillosa de color crema. Son micáceas hacia techo. A mitad del nivel aparece un lentejón de base erosiva con depósito tipo *lag*, compuesto por arenas de grano muy grueso y cantos, mal seleccionadas y que presentan superficies de oxidación rojizas y cantos blandos de arcillas marrones. Hacia techo del nivel se distinguen láminas milimétricas de carbonatos. Pertenece al tramo T-3.

- (SN-4-2) → Nivel de 15 cm de arenas de grano grueso, matriz-soportadas y mal seleccionadas, que presentan una matriz aleurítico-arcillosa de color crema. Hacia techo se distinguen láminas milimétricas de carbonatos. No se han observado restos paleontológicos. Pertenece al tramo T-3.

- (SN-4-3) → 15 cm de gravas de cantos de pequeño tamaño, mal seleccionadas, clasto-soportadas en la base y matriz-soportadas hacia techo, con una matriz aleurítico-arcillosa de color pardo. Su contacto con el nivel inferior es mediante una superficie erosiva con cantos de 2 y 3 cm, dispersos y de composición cuarzo y metacuarcita (Figura 4.6c). Hacia el techo del nivel se distinguen superficies con óxidos de hierro. Pertenece al tramo T-3.

- (SN-4-4) → Nivel de 30 cm de arenas de grano medio a grueso matriz-soportadas. Sus contactos con los niveles inferior y superior son netos. Presenta una mala selección y la matriz es arcillosa, disminuyendo su cantidad hacia techo. Hacia techo del nivel se distinguen niveles de carbonatos laminares milimétricos y cantos blandos de arcillas parduzcas. En todo el nivel se distinguen signos de bioturbación por raíces. Pertenece al tramo T-3.

- (SN-4-5) → Nivel granocreciente de 20 cm de arenas de grano grueso que pasan a gravas matriz-soportadas. Presenta una mala selección y la matriz es aleurítico-arcillosa de color crema. Hacia muro del nivel se distinguen niveles de carbonatos laminares milimétricos. Los granos predominantes son de cuarzo y feldespatos, con algunos clastos de mayor tamaño, de metacuarcitas, con superficies ligeramente oxidadas. Pertenece al tramo T-3.

- (SN-4-6) → Nivel clasto-soportado de 5 cm de arenas de grano muy grueso y cantos, con una mala selección y matriz arenoso-aleurítica de color crema. Su contacto con el nivel anterior es mediante una superficie erosiva que contiene sobre ella cantos de metacuarcita y feldespato subredondeados, y de cuarzo subangulosos. Pertenece al tramo T-3.

- (SN-4-7) → Nivel granocreciente de 10 cm de arenas de grano grueso que pasan a gravas matriz-soportadas. Presenta una mala selección y la matriz es aleurítico-arcillosa de color crema. No se observan estructuras sedimentarias ni restos paleontológicos. Pertenece al tramo T-3.

- (SN-4-8) → 20 cm de arenas de grano medio a grueso, matriz-soportadas, muy micáceas y mal seleccionadas. La matriz, de color blanquecino, es aleurítico-arcillosa. Sus contactos con los niveles inferior y superior son netos. En su mitad superior presenta finas láminas de carbonatos, que culminan en huellas de raíces y láminas subverticales rellenas de arcillas de color marrón en el techo. Pertenece al tramo T-3.

- (SN-4-9) → Nivel de gradación inversa de 15 cm de arenas de grano grueso matriz-soportadas que pasan a gravas con clastos de hasta 4 cm. Presenta una mala selección y la matriz es aleurítico-arcillosa, de color crema. A techo se distingue un nivel de carbonatos laminares de 2 cm de potencia máxima. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-4-10) → Nivel de 15 cm de arenas de grano muy grueso, matriz-soportadas. Presenta una mala selección y la matriz es aleurítico-arcillosa, de color crema oscuro. No se han observado restos de fósiles y ni estructuras sedimentarias. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-4-11) → Nivel de 35 cm de arenas de grano grueso, matriz-soportadas y poco consolidadas, que presentan abundantes óxidos de hierro, cantos blandos y bioturbación por raíces. Hacia la mitad del nivel hay un nivel de carbonatos laminares de color rosado de unos 3 cm que da paso a unos 3 cm de material mucho más consolidado (Figura 4.6d). Presenta una mala selección de tamaños y la matriz es aleurítico-arcillosa, de color ocre grisáceo. Pertenece al tramo T-2.

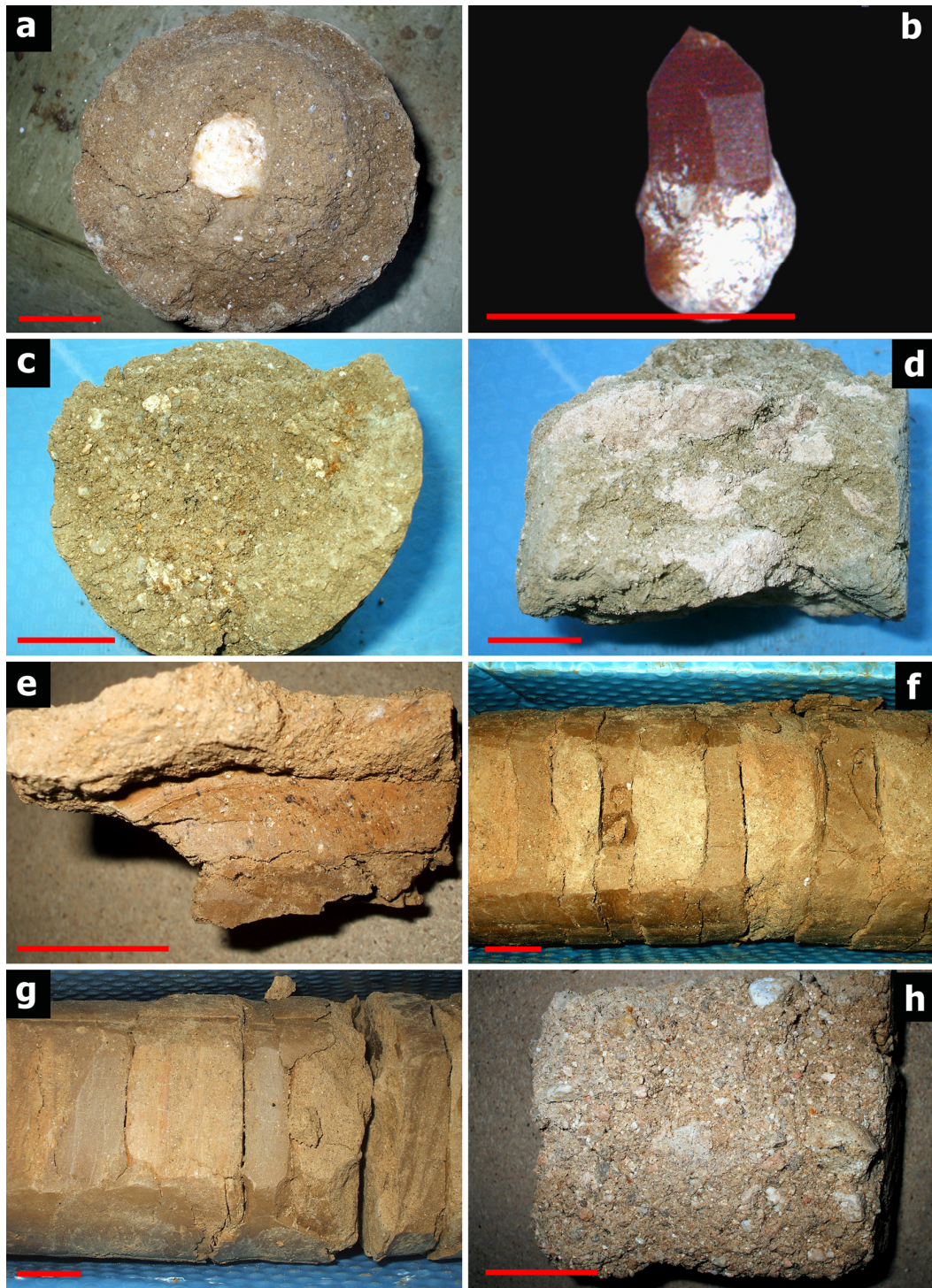


Figura 4.6- Imágenes de características en muestra de mano de diferentes niveles definidos en los sondeos del yacimiento de Somosaguas: a) arenas marrones con cantos del nivel SN-3-13; b) detalle de una cuarzo rojo idiomorfo del nivel SN-3-13; c) gravas de pequeño tamaño del nivel SN-4-3; d) detalle de los carbonatos rosados del nivel SN-4-11; e) contacto entre dos subniveles de las alternancias del nivel SN-5-10; f) sondeo con alternancias de arenas y pelitas del nivel SN-5-12; g) sondeo con alternancias de arenas y pelitas del nivel SN-5-14; h) arenas gruesas y gravas del nivel SN-5-17. Las barras de escala indican 2 cm.

- (SN-4-12) → Nivel de 15 cm de arenas de grano grueso clasto-soportadas y poco consolidadas, que presentan signos de bioturbación por raíces y láminas de carbonatos asociadas. Presenta una mala selección de tamaños y la matriz es aleurítico-arcillosa, de color crema oscuro. Predominan los clastos de cuarzo y feldespatos subangulosos y subredondeados. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-4-13) → Nivel de gradación normal, de 40 cm, de arenas de grano muy grueso y gravas que pasan a arenas de grano medio matriz-soportadas. La matriz es aleurítico-arcillosa de color marrón. Presenta una mala selección y predominan los clastos de cuarzo y feldespatos subangulosos. Se ha obtenido una esquirla de 7 mm de largo y forma tabular con bordes angulosos y color blanco. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-4-14) → Nivel de gradación normal de 30 cm de arenas de grano muy grueso y gravas que pasan a arenas de grano grueso matriz-soportadas. La matriz es aleurítico-arcillosa, de color marrón. Presenta una mala selección y predominan los clastos de cuarzo y feldespatos subangulosos. Su base se dispone en contacto erosivo sobre el nivel inferior y presenta algún canto blando disperso de arcillas marrones. Pertenece al tramo T-2.

- (SN-4-15) → Nivel de 30 cm de arenas de grano medio y grueso matriz-soportadas. La matriz es arcillosa, de color blanquecino. Presenta una mala selección y predominan los clastos de cuarzo subangulosos. Presenta una porosidad elevada con poros de hasta 3 mm de diámetro. A mitad del nivel hay unos 2 cm mucho más consolidados y hacia techo se observan signos de alteración edáfica. Se ha asignado al tramo T0.

4.12- Columna del Sondeo SN-5

Se trata de un sondeo del que se han extraído 10 m de testigo continuo. La cota máxima que alcanza es de aproximadamente 663,2 m. La descripción litológica de la columna se realiza de muro a techo de la sucesión (Figura 4.2) distinguiéndose los siguientes niveles:

- (SN-5-1) → Nivel de 35 cm de arenas de grano fino y medio matriz-soportadas. La matriz es aleurítico-arcillosa, de color ocre parduzco y con un aumento significativo de las partículas micáceas hacia el techo. Presenta una moderada selección y predominan los clastos de cuarzo subangulosos. Se observan algunos clastos dispersos de cuarzo de hasta 2 cm. Hacia techo se observan varios niveles milimétricos de pelitas arcillosas marrones. Pertenece al tramo T-5.

- (SN-5-2) → 15 cm de arenas de grano medio matriz-soportadas. La matriz es arcillosa, de color crema y con menor contenido en micas que el nivel anterior. Presenta una mala selección y los granos de mayor tamaño son de cuarzos subangulosos. Se observan algunos cantos blandos y superficies rojizas con óxidos de hierro. Pertenece al tramo T-5.

- (SN-5-3) → Nivel de 10 cm de arenas de grano fino-medio matriz-soportadas. La matriz es arcillosa, de color crema claro. Presenta una mala selección y los granos de mayor tamaño son de cuarzo. Se observan cantos blandos y superficies rojizas con óxidos de hierro. Pertenece al tramo T-5.

- (SN-5-4) → Nivel de 15 cm de arenas de grano grueso matriz-soportadas. La matriz, de color crema, es aleurítico-arcillosa. Presenta una mala selección de tamaños y los granos de mayor tamaño son de cuarzo. Se observan superficies rojizas con óxidos de hierro. Pertenece al tramo T-5.

- (SN-5-5) → Nivel granocreciente de 15 cm de arenas de grano medio a grueso con cantos dispersos, matriz-soportadas, con una significativa disminución de la matriz hacia el techo y mal seleccionadas. La matriz, de color crema, es aleurítico-arcillosa. Pertenece al tramo T-5.

- (SN-5-6) → Nivel granocreciente de 35 cm de arenas de grano fino en la base a medio y grueso en el techo, matriz-soportadas y mal seleccionadas. La matriz es aleurítico-arcillosa, de color crema. Hacia techo se observan superficies con óxidos de hierro. Este nivel ha proporcionado un resto de fósil de vertebrado de 2 cm de eje máximo y morfología tabular redondeada en sus extremos. Pertenece al tramo T-5.

- (SN-5-7) → Nivel de 35 cm de arenas arcósicas poco consolidadas. El tamaño de grano es medio, aunque continene algunos clastos gruesos y muy gruesos, en general, de cuarzo, granito rojo y metacuarcita. Es un nivel matriz-soportado y está mal seleccionado. La matriz es aleurítico-arcillosa, de color crema oscuro. Hacia techo se observan superficies con óxidos de hierro. Se ha obtenido una esquirla de fósil de unos 8 mm de largo y forma aproximadamente columnar, de color blanco con pequeños puntos negros debidos a óxidos de manganeso. En el techo hay un nivel de menos de 2 cm que tiene grano más grueso y color más claro, que se dispone de forma erosiva sobre este nivel, aunque por su poco espesor y fracturación general no se ha considerado como un nivel separado. Pertenece al tramo T-5.

- (SN-5-8) → Nivel de 185 cm de alternancia de arenas arcósicas de grano fino-medio y pelitas. Las arenas de color ocre son matriz-soportadas y están moderadamente seleccionadas. Hacia el techo los niveles lutíticos marrones se van haciendo de granulometría más fina y se observan pequeñas deformaciones en los contactos entre las arenas y las pelitas; en ocasiones, se observa la formación de pequeñas venas de carbonatos. En toda la alternancia se observan superficies con óxidos de hierro, *chips* de carbonatos y signos de bioturbación por raíces. No se han obtenido restos paleontológicos. Los niveles arenosos suelen presentar micas y cantos blandos de arcillas marrones, que en ocasiones estan ligeramente deformadas. Pertenece al tramo T-4.

- (SN-5-9) → Nivel de 50 cm de alternancia de arenas arcósicas de grano medio, muy consolidadas, y de pelitas de color marrón. Las arenas de color ocre son matriz-soportadas y están moderadamente seleccionadas. En toda la alternancia se observan cantos blandos en las arenas y signos de bioturbación por raíces. No se han obtenido restos paleontológicos. Hacia techo son comunes las láminas milimétricas de carbonatos. Pertenece al tramo T-4.

- (SN-5-10) → Nivel de 70 cm de alternancias de arenas arcósicas de grano medio con granos gruesos dispersos, moderadamente seleccionadas y muy consolidadas, y de pelitas de color marrón anaranjado (Figura 4.6e). Las arenas color ocre son matriz-soportadas con

mucha matriz arcillosa y hacia techo van siendo de mayor tamaño de grano. Se observan finas láminas de carbonatos hacia techo. Pertenece al tramo T-4.

- (SN-5-11) → Nivel de 110 cm muy masivo con gradación normal de arenas muy gruesas con cantos dispersos que pasan a arenas de grano medio y fino. Esta mal seleccionado y la coloración general es mas clara que los niveles anteriores, aunque con cierto moteado rojizo hacia techo. Es matriz-soportada, aunque el contenido de la matriz es mayor hacia techo. Pertenece al tramo T-3.

- (SN-5-12) → Nivel de 75 cm que se deposita erosivamente sobre el anterior y está compuesto por una alternancia de arenas ocre de grano medio y grueso y pelitas marrones. La selección es mala y los niveles arenosos son matriz-soportados (Figura 4.6f). Algunos de los niveles arenosos presentan láminas de carbonatos. En la base de este nivel se sitúa el nivel freático actual. Pertenece al tramo T-1.

- (SN-5-13) → Nivel de 80 cm compuesto por una alternancia de arenas ocre de grano medio y pelitas marrones. La selección de los niveles arenosos es mala y son matriz-soportados. Algunos de los niveles arenosos presentan láminas de carbonatos, *chips* de carbonato y cantos blandos de arcillas marrones. Pertenece al tramo T-1.

- (SN-5-14) → Nivel de 30 cm compuesto por una alternancia de arenas ocre parduzcas de grano fino y medio y pelitas marrones (Figura 4.6g). Hacia techo los cuerpos arenosos se hacen de granulometría ligeramente más gruesa. La selección de los niveles arenosos es mala y son matriz-soportados. Se han distinguido dos cuerpos arenosos que presentan base erosiva sobre las pelitas o sobre otro cuerpo arenoso. Pertenece al tramo T-1.

- (SN-5-15) → Nivel de 60 cm de alternancia de arenas ocre de grano medio a grueso y pelitas arcillosas marrones. Hacia el techo los cuerpos arenosos se hacen de granulometría más gruesa. La selección de los niveles arenosos es mala y son matriz-soportados. Hacia techo se observan estructuras de escape de fluidos y se han obtenido *chips* de carbonatos re trabajados. Pertenece al tramo T-1.

- (SN-5-16) → Nivel de 20 cm muy masivo con gradación normal de arenas de grano grueso a medio. Está mal seleccionado y el color es ocre parduzco. Es matriz-soportado, aunque el contenido de la matriz es mayor hacia techo. Se observan abundantes signos de fluidificación o estructuras de escape de fluidos. Pertenece al tramo T0.

- (SN-5-17) → Nivel de 20 cm de arenas de grano muy grueso con cantos dispersos clasto-soportadas, con matriz arenoso-aleurítico-arcillosa de color ocre. Los clastos son de feldespatos, cuarzo, metacuarcita y granitos, estos últimos muy alterados y delezna bles (Figura 4.6h).

- (SN-5-18) → Nivel de 140 cm de arenas mal seleccionadas con gradación inversa desde arenas de grano fino a medio y grueso con algunos cantos dispersos. Presenta color crema oscuro que va siendo más claro hacia techo y aumenta la consistencia en el mismo sentido. Es matriz-soportada, aunque el contenido de la matriz es mayor hacia el techo. Se

observan estructuras sedimentarias muy difusas que asemejan a estratificación cruzada. Se ha obtenido un resto de fósil de vertebrado hacia la parte media del nivel. El resto está muy deteriorado con múltiples fracturas que lo hacen muy deleznable. A lo largo de todo el tramo pero especialmente hacia la mitad inferior se observan cantos blandos milimétricos de arcillas marrones. Pertenece al tramo T0.

4.13- Columna de Húmero Norte

Se trata de una columna de unos 360 cm de potencia. La cota máxima que alcanza es de aproximadamente 660,5 m. Posteriormente a los estudios realizados por Menéndez Gamella *et al.* (2010) algunos de los niveles han desaparecido por obras de aplanamiento en la zona o han sido cubiertos por sedimentos, por lo que las potencias y cotas hacen referencia a las condiciones originales en las que realizamos el muestreo y la descripción. La descripción litológica de la columna se realiza de muro a techo de la sucesión (Figura 4.3) distinguiéndose los siguientes niveles:

- **(HN1-1)** → Nivel de unos 70 cm de arenas arcósicas mal seleccionadas con gradación inversa de arenas de grano fino-medio a grueso con cantos dispersos. Es clasto-soportado aunque en algunas zonas de forma irregular es matriz-soportado y la matriz es aleurítico-arcillosa. Presenta una cementación carbonatada diferencial en parches que tridimensionalmente tienen formas ovoidales o esféricas más o menos irregulares. Tiene color crema oscuro, que pasa a ser más claro, y de aspecto moteado, en los lugares donde hay presencia de cementos carbonatados. No se observan estructuras sedimentarias ni contenido fosilífero. Se pueden observar cantos blandos milimétricos de arcillas de color marrón claro hacia la base del nivel. Predominan los cuarzos subangulosos y los feldespatos, y los fragmentos de roca son muy escasos a simple vista. Son minerales accesorios comunes las biotitas y moscovitas de pequeño tamaño. Su contacto con el nivel superior es neto, aunque se distingue por la presencia de carbonatos laminares milimétricos en la base del siguiente nivel. El nivel es equivalente al H1-I de Menéndez Gamella *et al.* (2010). Pertenece al tramo H1.

- **(HN1-2)** → Nivel de unos 50 cm de arenas arcósicas mal seleccionadas con gradación inversa de arenas de grano grueso a muy grueso con cantos dispersos de hasta 1 cm. Es clasto-soportada aunque en algunas zonas de forma irregular es matriz-soportada. La matriz es aleurítico-arcillosa de color ocre. Presenta una cementación carbonatada diferencial en parches que tridimensionalmente tienen formas ovoidales o esféricas, más o menos irregulares, y que generan un color ocre más claro que en el resto del nivel (Figura 4.7a). No se observan estructuras sedimentarias, pero al contrario que el nivel inferior sí tiene contenido paleontológico. Hasta el momento se han obtenido esquirlas de huesos y esmalte que en algunos casos han podido ser identificados (ver Menéndez Gamella *et al.*, 2010; Cárdena *et al.*, 2013). Son más abundantes estas esquirlas de huesos hacia techo del nivel y sus estados de conservación tafonómica son muy dispares. Se pueden observar cantos blandos milimétricos de arcillas color ocre en la primera mitad del nivel. Su contacto con el nivel inferior es neto y se diferencia por la presencia de carbonatos laminares milimétricos que hacia techo se hacen más abundantes y gruesos, y la presencia de los restos fósiles. Predominan los cuarzos subangulosos y los feldespatos subredondeados, y los fragmentos

de roca son escasos y, en general, de composición granítica. En muestra de mano son comunes las moscovitas y menos comunes que en el nivel anterior las biotitas. El nivel es equivalente al H1-II de Menéndez Gamella *et al.* (2010). Pertenece al tramo H1.

- **(HN2-1)** → Nivel de 30 cm de arenas arcósicas mal seleccionadas con gradación normal desde gravas y arenas de tamaño de grano muy grueso a grueso. La base del nivel es suavemente erosiva y presenta un depósito tipo *lag* sobre ella de espesor irregular (4 a 7 cm). Es clasto-soportado y la matriz es arenoso-aleurítico-arcillosa. Tiene color ocre claro y es algo menos consistente que los niveles inferiores. Predominan los cuarzos subangulosos y los feldespatos subredondeados. Los fragmentos de roca son escasos y de composición granítica y esquistosa. Son raros el resto de minerales aunque se observa algún mineral denso de hasta 3 mm de longitud (turmalina negra). No se observan estructuras sedimentarias ni moteados por cementos carbonáticos, pero sí tiene abundante contenido paleontológico. Hasta el momento se han obtenido esquirlas de huesos y esmalte de macrovertebrados que en algunos casos han podido ser identificados (ver Menéndez Gamella *et al.*, 2010; Cárdbaba *et al.*, 2013). Los estados de conservación tafonómica son muy dispares. Hacia techo se van haciendo comunes los niveles de carbonatos laminares aunque, en general, son de unos pocos milímetros de espesor. Este nivel es equivalente al conjunto de H2-Lag y H2-I de Menéndez Gamella *et al.* (2010). Pertenece al tramo H2.

- **(HN2-2)** → Nivel de 90 cm de arenas arcósicas mal seleccionadas con gradación normal de arenas de tamaño de grano grueso a arenas de grano medio. El contacto con el nivel infrayacente es neto. Es clasto-soportado y la matriz es aleurítico-arcillosa. Tiene color ocre. Se observan estructuras sedimentarias muy difusas y retocadas en todo caso por los abundantes signos de bioturbación por raíces y los niveles de carbonatos laminares que cortan irregularmente la estratificación. La cementación carbonatada diferencial da lugar a un moteado de color blanquecino. Tiene menor contenido paleontológico que el resto de niveles de H2, pero parecen ser del mismo tipo y con similares características tafonómicas (ver Menéndez Gamella *et al.*, 2010). Son comunes hacia techo los niveles más rojizos debidos a la presencia de óxidos de hierro. Predominan los cuarzos subangulosos y los feldespatos, y los fragmentos de roca son muy escasos de visu. Este nivel es equivalente al H2-II de Menéndez Gamella *et al.* (2010). Pertenece al tramo H2.

- **(HN2-3)** → Nivel de 60 cm de arenas arcósicas mal seleccionadas con gradación normal de arenas de grano medio a arenas de grano fino. El contacto con el nivel infrayacente es neto. Es clasto-soportado y la matriz es arcillosa y más abundante que en los niveles inferiores. Tiene color crema oscuro. Se observa un moteado de tonos blanquecinos debido a la cementación carbonatada diferencial. Las zonas cementadas presentan formas desde esféricas hasta irregulares, aunque no superiores a los 6 cm de extensión en ninguna dirección. Tiene restos de fósiles de macrovertebrados, principalmente concentrados hacia la base del nivel, al igual que las láminas de carbonatos que son más gruesas y abundantes hacia la base. Predominan los cuarzos subangulosos y los feldespatos subredondeados, y los fragmentos de roca son muy escasos de visu. Este nivel es equivalente al H2-III de Menéndez Gamella *et al.* (2010). Pertenece al tramo H2.

- **(HN3)** → Nivel de 20 cm de pelitas con cantos de cuarzo y feldespatos, éstos últimos muy alterados y dispersos por todo el nivel. La selección es moderada. El contacto con el nivel infrayacente es neto. Tiene color crema claro. Reacciona de forma significativa al ácido clorhídrico, por lo que contiene carbonatos de origen incierto (ver capítulos siguientes). Tiene una riqueza considerable en restos de fósiles de microvertebrados, que han sido descritos y clasificados taxonómicamente por Menéndez Gamella *et al.* (2010) y Cárdbaba *et al.* (2013). A techo presenta un nivel carbonático centimétrico que le separa del tramo H4. Este nivel es equivalente al H3 de Menéndez Gamella *et al.* (2010). Es el único nivel que representa al tramo H3.

- **(HN4)** → Nivel de 20 cm de pelitas muy bioturbadas por raíces y microfauna, y que presenta abundante porosidad. El contacto con el nivel infrayacente es mediante un nivel carbonático laminar centimétrico (Figura 4.7b). Tiene color marrón claro en la base que tiende a tonos verdosos hacia el techo. Hacia el techo se observa laminación paralela difusa que va unida a la formación de estructuras lenticulares de color marrón en la masa general de color verdoso. No se ha obtenido contenido paleontológico de este tramo. Este nivel es equivalente al H4 de Menéndez Gamella *et al.* (2010). Es el único nivel que representa al tramo H4.

- **(HN5)** → Nivel de 25 cm de pelitas arcillosas de color marrón claro y con abundante porosidad y fracturas de pequeño tamaño rellenas de material carbonatado. La bioturbación es muy intensa en todo el tramo y se observa de forma local laminación paralela. Hacia techo se hace más micáceo con granos micáceos de hasta 2 mm. Sus últimos centímetros son de color más oscuro y presentan claros signos de alteración edáfica. Hasta el momento no se ha obtenido contenido paleontológico de este tramo. Este nivel es equivalente al H5 de Menéndez Gamella *et al.* (2010). Es el único nivel que representa al tramo H5.

4.14- Columna de Húmero Oeste

Se trata de una columna de unos 360 cm. La cota máxima que alcanza es de aproximadamente 659,9 m. Al igual que en el yacimiento Norte los valores de cotas y espesores hacen referencia a los valores originales que se midieron durante la campaña de 2009 y no a las condiciones actuales de afloramiento que han sido ligeramente modificadas por actuaciones de aplanamiento y movimiento de escombros. La descripción litológica de la columna se realiza de muro a techo de la sucesión (Figura 4.3) distinguiéndose los siguientes niveles:

- **(HW1-1)** → Nivel de 70 cm de arenas arcósicas mal seleccionadas con gradación inversa desde arenas de grano fino-medio a grueso con cantos dispersos. Es clasto-soportado aunque con bastante matriz, por lo que, localmente el esqueleto llega a estar soportado por una matriz aleurítico-arcillosa. Presenta una cementación carbonática diferencial en parches, con formas ovoidales o esféricas más o menos irregulares. Tiene color ocre que es más claro por el efecto del moteado blanquecino en las zonas con presencia de cementos carbonáticos. No se observan estructuras sedimentarias ni contenido fosilífero. Se pueden observar cantos blandos milimétricos de arcillas ocreas hacia la base del nivel. Predominan los cuarzos subangulosos y los feldespatos subredondeados, y los

fragmentos de roca son muy escasos a simple vista. Las micas son minoritarias aunque alguno de los granos puede tener hasta 2 mm de tamaño. Su contacto con el nivel superior es neto, aunque se distingue por la presencia de niveles de carbonatos laminares milimétricos en la base del siguiente nivel. Pertenece al tramo H1.

- **(HW1-2)** → Nivel de 50 cm de arenas arcósicas mal seleccionadas con gradación inversa de tamaños desde arenas de grano grueso a muy grueso con cantos dispersos de hasta 1,5 cm. El esqueleto es clasto-soportado y al igual que los niveles inferiores presenta una cementación carbonática diferencial en parches, que tridimensionalmente tienen formas ovoidales o esféricas más o menos irregulares. La matriz es aleurítico-arcillosa y el color es ocre, que es más claro por el aspecto moteado que le dan las zonas con presencia de cementos carbonáticos. No se observan estructuras sedimentarias, pero al contrario que el nivel inferior sí tiene contenido paleontológico. Hasta el momento se han obtenido dos esquirlas de hueso. Se pueden observar cantos blandos milimétricos de arcillas de color ocre hacia la parte media del nivel. Su contacto con el nivel inferior es neto y se diferencia por la presencia de los restos fósiles y de niveles de carbonatos laminares milimétricos que hacia techo se hacen más abundantes y gruesos. Además, estos niveles son mucho más gruesos que los equivalentes de la columna Norte y se bifurcan o presentan múltiples ramificaciones. Predominan los cuarzos subangulosos y los feldespatos subredondeados, y los fragmentos de roca son escasos. En muestra de mano las moscovitas son comunes. Pertenece al tramo H1.

- **(HW2-1)** → Nivel de 30 cm de arenas arcósicas mal seleccionadas con gradación de tamaños normal desde gravas y arenas de grano muy grueso a arenas de grano grueso. La base del nivel es erosiva y presenta un depósito tipo *lag* sobre ésta, con un espesor irregular de 5 a 7 cm. El esqueleto del depósito es clasto-soportado y la matriz es aleurítico-arcillosa. Tiene color ocre y es algo menos consistente que los niveles inferiores. Predominan los cuarzos subangulosos y los feldespatos subredondeados. Los fragmentos de roca son escasos y de composición granítica y gnéissica. Hacia techo se van haciendo comunes los niveles de carbonatos laminares, aunque a diferencia del nivel equivalente en la columna Norte son más gruesas y se bifurcan en láminas de menor espesor (Figura 4.7c). No se observan estructuras sedimentarias ni moteados por cementos carbonáticos, pero sí tiene abundante contenido paleontológico. Hasta el momento se han obtenido esquirlas de huesos y esmalte de macrovertebrados durante las prospecciones realizadas. Los estados de conservación tafonómica son muy dispares. Pertenece al tramo H2.

- **(HW2-2)** → Nivel de 90 cm de arenas arcósicas mal seleccionadas con gradación normal de tamaños desde arenas de grano grueso a arenas de grano medio. El contacto con el nivel infrayacente es neto. El esqueleto es clasto-soportado y la matriz es aleurítico-arcillosa de color ocre. Se observan estructuras sedimentarias muy difusas y retocadas por la abundante bioturbación por raíces y los niveles de carbonatos laminares que cortan irregularmente la estratificación. La cementación carbonática diferencial da lugar a un moteado de color blanquecino. No se han obtenido, por el momento, restos paleontológicos. Son comunes hacia techo los niveles más rojizos debidos a la presencia de óxidos de hierro. Predominan los cuarzos subangulosos y los feldespatos subredondeados, y los fragmentos de roca son muy escasos de visu. Pertenece al tramo H2.

- **(HW2-3)** → Nivel de 60 cm de arenas arcósicas mal seleccionadas con gradación normal de tamaños, desde arenas de grano medio a arenas de grano fino y muy fino. El contacto con el nivel infrayacente es neto. El esqueleto es clasto-soportado y la matriz, de color ocre, es arcillosa y más abundante que en los niveles inferiores. Se observa un moteado de tonos blanquecinos debido a la cementación carbonática diferencial. Las zonas cementadas presentan formas totalmente esféricas o irregulares. Tiene restos de fósiles de macrovertebrados, principalmente concentrados hacia la base del nivel, al igual que las láminas de carbonatos que son más gruesas y abundantes hacia la base. Predominan los cuarzos subangulosos y los feldespatos subredondeados, y los fragmentos de roca son muy escasos de visu. Pertenece al tramo H2.

- **(HW3)** → Nivel de 20 cm de pelitas con granos de cuarzo y feldespato, estos últimos muy alterados y dispersos por todo el nivel. El contacto con el nivel infrayacente es neto. Tiene color crema claro. Reacciona de forma significativa con ácido clorhídrico, por lo que contiene carbonatos de origen incierto (ver capítulos siguientes). Tiene una riqueza considerable en restos de fósiles de microvertebrados, que han sido descritos y clasificados taxonómicamente por Menéndez Gamella *et al.* (2010) y Cárdbaba *et al.* (2013). Es el único nivel que representa al tramo H3. En el techo presenta un nivel centimétrico de carbonatos que le separa del tramo H4.

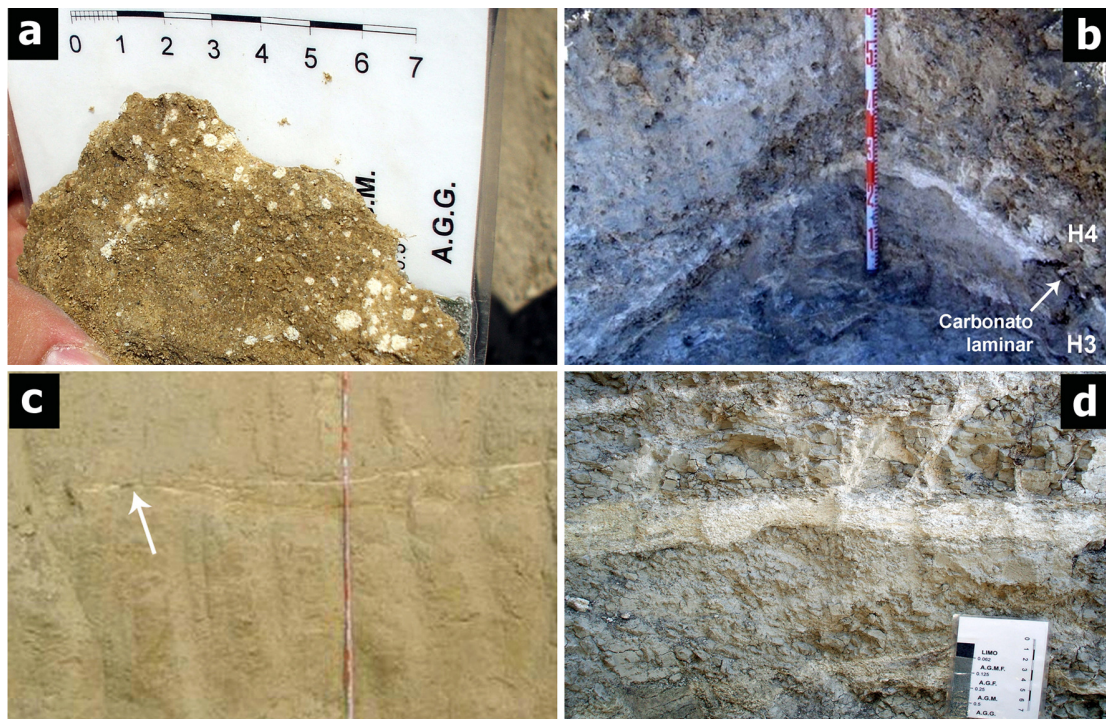


Figura 4.7- Imágenes de características en muestra de mano y afloramiento del yacimiento de Húmera: a) moteado blanquecino debido a cementación carbonática diferencial; b) contacto mediante carbonato laminar entre los tramos H3 y H4; c) carbonatos laminares muy extensos lateralmente y con bifurcaciones; d) detalle de los carbonatos laminares y los carbonatos oblicuos que se unen a éstos rompiendo la estratificación.

- (HW4) → Nivel de 20 cm de pelitas muy bioturbadas por raíces y microfauna, y que presenta abundante porosidad. El contacto con el nivel infrayacente es mediante un nivel centimétrico de carbonatos laminares. Tiene color marrón claro en la base que tiende a tonos verdosos hacia techo. Hacia techo se observa laminación paralela difusa que va unida a la formación de estructuras lenticulares de color marrón en la masa general de color verdoso muy ricas en micas negras y carbonatos secundarios verticalizados y relacionados con los carbonatos laminares (Figura 4.7d). Hasta el momento no ha sido un nivel productivo en lo que a restos paleontológicos se refiere. Es el único nivel que representa al tramo H4.

- (HW5) → Nivel de 25 cm de pelitas de color marrón claro y con abundante porosidad y fracturas de pequeño tamaño rellenas de carbonato. La bioturbación es muy intensa en todo el tramo y se observa de forma local laminación paralela. Hacia techo se hace más micáceo con micas de hasta 2 mm. Sus últimos centímetros son de color más oscuro y presentan claros signos de alteración edáfica. Hasta el momento no se ha obtenido contenido paleontológico de este tramo. Es el único nivel que representa al tramo H5.

4.15- Nuevas Aportaciones en la Interpretación de la Secuencia Sedimentaria

En este apartado indicamos las propuestas de mejora y los cambios que hemos introducido en la nomenclatura estratigráfica y la interpretación de los diferentes cuerpos sedimentarios del área de estudio, así como los trabajos pendientes para el futuro que deben clarificar algunos aspectos aún sin resolver en torno a la litoestratigrafía del área de Somosaguas-Húmera. De la pormenorizada descripción de los niveles de este área destacamos los siguientes puntos:

- Para tener una caracterización mineralógica, petrográfica y granulométrica de los niveles presentes en el tramo T3 se han separado seis niveles (ver Figura 3.4 y explicación en capítulo 3) basados en las observaciones paleontológicas de Élez (2005) e isotópicas de Domingo *et al.* (2009), que indicaban diferencias internas en este tramo. De base a techo del tramo T3 se han denominado N-4.1, N-4.2, y así sucesivamente hasta el N-4.6. Aquí hemos seleccionado 6 muestras, de forma que hemos elegido las muestras N-4.1, N-4.3 y N-4.5, con mayor contenido en fósiles y N-4.2, N-4.4 y N-4.6 con menor contenido paleontológico. Las observaciones en el campo permiten observar ligeras diferencias en cuanto a grado de cementación, consistencia, granulometría y presencia de carbonatos laminares. En los próximos capítulos se estudian las variaciones a nivel composicional (composiciones de arenas y arcillas) de estos niveles, con el fin de poder comprobar si las diferencias también afectan a la composición de cada nivel y por lo tanto, este tramo está formado por múltiples cuerpos sedimentarios amalgamados.

- En el trabajo de Mínguez Gandú (2000) se mencionan arcillas puras de color blanco en el yacimiento de Somosaguas. Tras el estudio realizado, podemos descartar definitivamente la existencia de estas arcillas, y confirmamos la existencia de carbonatos laminares blanquecinos en los tramos que supuestamente contenían estas arcillas. La existencia de estos carbonatos muy pulverulentos y en ocasiones de muy poco espesor podrían explicar el hecho de la errónea descripción de arcillas blanquecinas en este área.

- Las “galletas” de arcillas, que se han observado en el tramo T3, tanto de color ocre como de color marrón oscuro, presentan unas características, en campo, que pueden asociarlas al techo de determinados cuerpos sedimentarios, por lo que, a falta de estudios texturales y cristalquímicos de las arcillas, creemos acertado su asignación a procesos de transferencia vertical de arcillas o elutriación de las partículas más finas durante el *debris flow*, tal y como proponen Díez-Canseco *et al.* (2012).

- Cuevas-González (2005b) consideró que la secuencia de niveles descritos para la columna Som-6 corresponderían a un tramo diferente (T4) de los descritos en los afloramientos de la zona de excavaciones, aunque no incluyó una descripción detallada de los diferentes niveles (ver capítulo 3). Teniendo en cuenta su potencia observable de tan solo 110 cm, y la cota a la que está su techo, se interpreta que queda por encima del tramo T3. Además, como ya se ha comentado, en esta zona el buzamiento es muy bajo (2-3°) y, por lo tanto, en los escasos 60 metros que separan este afloramiento de la columna de Somosaguas Norte, solo puede tratarse de sedimentos depositados por encima del tramo T3. Sin embargo, es discutible si se pueden considerar como tramo nuevo o ser asignados al techo de T3, no visible en el afloramiento de Som-N. Mientras que los niveles 6-1 a 6-4 son semejantes a aquellos depositados en T2 (arenas de grano fino y medio con mucha mica alternadas con pelitas), los niveles superiores, 6-5 y 6-6, se asemejan a los niveles de la mitad inferior del tramo T3. En ambos casos hay ciertas características diferenciales, como la falta de restos fósiles en los dos niveles superiores, mientras que T3 es fosilífero, o el color más claro de las arcillas intercaladas con las arenas de grano fino, y el menor tamaño de las micas de éstas con respecto a las del tramo T2. Teniendo en cuenta todo lo anterior, consideramos que es posible definir como T4 los cuatro niveles inferiores de esta columna y como la base de T5 los dos niveles superiores. Por encima de esta secuencia la carretera interna del campus universitario, y las aceras y vallados de las zonas cercanas a la estación de autobuses, impiden obtener datos litológicos entre los niveles 6-6 y 7-1 (algo menos de 5 metros que quedan pendientes de futuros estudios). Teniendo en cuenta sus características, el tramo T4 reflejaría procesos como mantos de arroyada (*sheet floods*) o lóbulos de desembocadura de canales (*stream mouth lobes* o *terminal sprays*), mientras que el tramo T5 sería el resultado de un depósito de flujos energéticos y relativamente viscosos como los *grain* o *debris flows*.

- La secuencia de la columna Som-7 es muy parecida a los niveles anteriores y con algunas características similares a T3, sin embargo, su cota y el menor tamaño de grano permiten identificarlo como tramo superior a los definidos previamente. Dado que tras la prospección no se ha encontrado ningún resto paleontológico, y su parecido a T5, no se puede descartar que se corresponda con el techo de dicho tramo, pero debido a que se desconoce el contenido sedimentario que hay entre ambas zonas, tampoco se puede descartar que sea un tramo diferente, con otras litologías entre T5 y estos niveles de la columna 7. En todo caso sus características los asemejan a las que definen un proceso energético de flujo en masa, asimilable a un *grain flow*, y a lo largo del texto haremos referencia a estos niveles como pertenecientes a un tramo T6.

- Los estudios litoestratigráficos de los sondeos realizados en el área de Somosaguas permiten definir varios niveles fosilíferos nuevos. Estos niveles que se observan en varias columnas (Figura 4.2) forman parte de los tramos T-5, T-2 y T0. Esta observación de tres

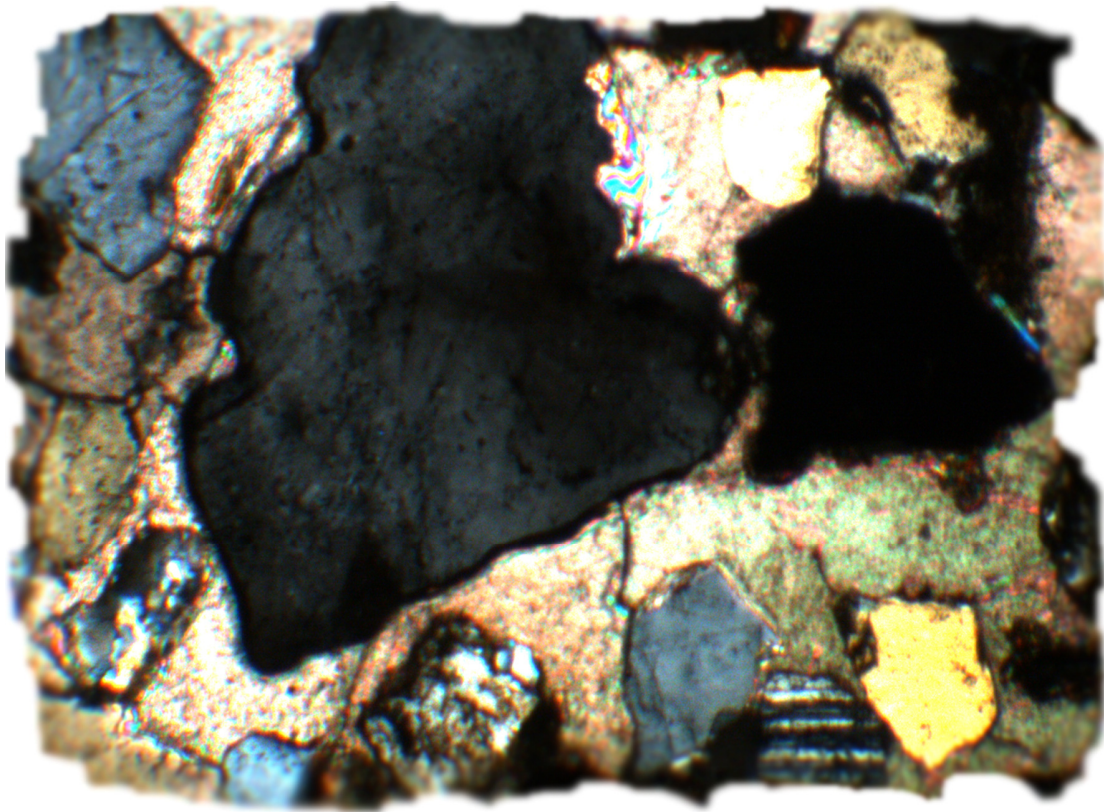
nuevos tramos fosilíferos permite concluir que este área, al menos durante cierto tiempo durante el Aragoniense medio, funcionó como nivel de base local al que llegaban los restos paleontológicos englobados en diversos tipos de flujos en masa provenientes desde el área fuente.

- La observación, tanto en algún nivel de los afloramientos como de los sondeos, de granos de cuarzo muy idiomorfos y colores rojos, deja la incógnita de su posible clasificación como la variedad Jacinto de Compostela, lo que tendría una interpretación genética de gran interés en la geología regional, dado que este tipo de cuarzo se suele asociar con las facies yesíferas. Será necesario realizar un estudio microscópico y químico de estos granos para deducir su posible origen.

Capítulo 5

Análisis Sedimentológico y Textural

Una pequeña corriente ha cavado el enorme foso, ha abierto esas profundas hendiduras a través de la arcilla y la dura roca...
Élisée Reclus



5.1- *Introducción*

El análisis textural de un sedimento o roca sedimentaria se puede abordar desde diferentes puntos de vista, en función de las características que se quieran estudiar. En general, un estudio textural de un depósito detrítico comprende la caracterización de la distribución de poblaciones de tamaños de grano del sedimento, las relaciones entre los diferentes componentes del sedimento y sus proporciones (esqueleto, pasta, poros, etc.), observaciones de los tipos de matrices y cementos, alteraciones y transformaciones de los componentes del sedimento, la redondez y esfericidad de los granos, y la microtextura en cuanto a las relaciones entre las partículas arcillosas y los componentes más gruesos, y las texturas superficiales de los granos detríticos. Este tipo de estudios para la caracterización de depósitos detríticos se han empleado de forma sistemática en las últimas décadas.

Los primeros trabajos que estudian las relaciones entre las distribuciones clastométricas, los mecanismos de transporte y las características del medio son los realizados por Bagnold (1939), Doeglas (1946), Inman (1949) y Pettijohn (1949) entre otros muchos que realizaron trabajos locales aplicando el estudio de los tamaños de los clastos. Estos autores indican que las distribuciones clastométricas presentan diferentes modas que deben estar relacionadas con diferentes mecanismos de transporte. Los estudios de Visher (1969) profundizan en este campo buscando las relaciones entre las morfologías de las representaciones clastométricas y los mecanismos o modos de transporte (suspensión, saltación y tracción) en diferentes medios sedimentarios. La mayoría de los depósitos caracterizados en estas primeras publicaciones están relacionados con ambientes fluviales, por lo que determinados autores (Einstein, 1950; Middleton, 1976; Viard y Breyer, 1979; Eschner y Kircher, 1984; Vakalas *et al.*, 2004, entre otros) utilizan los datos texturales para deducir características hidráulicas (caudal, anchura y profundidad del cauce, velocidad de decantación, velocidad crítica de arrastre, etc.) de este tipo de medios. Al mismo tiempo se repetían los intentos por definir medios sedimentarios a partir de los valores estadísticos obtenidos para las distribuciones clastométricas (Folk y Ward, 1957; Passega, 1957 y 1964; Harris, 1959; Bull, 1962; Friedman, 1967; Amaral y Pryor, 1977; Spalletti, 1980; etc.) con mayor o menor éxito según los ambientes sedimentarios de los que se tratase. Trabajos sobre la relación entre la litología del área fuente, el paleoambiente, el paleoclima y las distribuciones clastométricas se han realizado en depósitos antiguos (Harms *et al.*, 1965; Berg, 1975, Datta, 2005, entre otros) y recientes (Palomares *et al.*, 1990; Tortosa *et al.*, 1997; Silva *et al.*, 1999).

El trabajo de Palomares *et al.* (1990), realizado en las cabeceras de los arroyos actuales del Sistema Central, permitirá comparar nuestros resultados en relación a aquellos obtenidos en el área fuente para inferir la procedencia de los materiales estudiados. Por otra parte estudios clastométricos en las zonas de transición en la cuenca de Madrid (Lomoschitz *et al.*, 1985) han puesto de relieve la existencia de arenas micáceas, similares a las que observamos en el área estudiada en esta Tesis, que presentan unas morfologías características de sus curvas clastométricas y por lo tanto también serán objeto de comparación con nuestros datos. Por otra parte, el estudio llevado a cabo por Torres *et al.* (1995) sobre las relaciones arena/arcilla en el área oeste de la cuenca de Madrid, mostraron las variaciones de esta relación en la vertical, correlacionables, según estos autores, con los movimientos de dos grandes cuerpos de abanicos aluviales (Marchamalo y Colmenar) y la formación de una zona fangosa que

denominaron “Pasillo lutítico de Majadahonda”. Según diversos autores (Cuevas-González *et al.*, 2005a; Carrasco *et al.*, 2008; Menéndez Gamella *et al.*, 2010) el área que comprende los yacimientos estudiados (cotas entre los 600 y 700m) estaría ocupado por este pasillo lutítico durante el depósito de los sedimentos estudiados. Por lo tanto, también se evaluarán las relaciones arena/arcilla de las muestras seleccionadas para comprobar su pertenencia a este pasillo de materiales más finos o por el contrario la existencia de una zona perteneciente a los abanicos de Colmenar y Marchamalo. Finalmente, como ya se ha comentado en los antecedentes sobre los yacimientos de Somosaguas, observaciones del contenido fósil, el tipo y concentración de carbonatos laminares y las señales isotópicas (Cuevas-González, 2005b; Élez, 2005; Fesharaki, 2005; Domingo *et al.*, 2009) han puesto de manifiesto la existencia de diversos niveles amalgamados en lo que se ha denominado tramo T3. Por lo tanto se han seleccionado también muestras de los 6 niveles definidos en el capítulo 4 para este tramo, con el objeto de comprobar las posibles diferencias entre sus distribuciones clastométricas (este capítulo), así como en su composición mineralógica (ver capítulos siguientes). Finalmente, algunos autores han realizado trabajos de inferencia diagenética a partir del estudio de las distribuciones de tamaños de grano (Galloway y Hobday, 1983; Hartmann y Beaumont, 1999; Cheung *et al.*, 2012). Sin embargo este último tipo de investigaciones necesitan unas condiciones metodológicas de las que no se han podido disponer para esta Tesis y por lo tanto no son objetivo de este capítulo.

Por otra parte, el estudio de las características texturales de los sedimentos y rocas sedimentarias ha sido una práctica habitual en todos los estudios petrológicos y sedimentológicos de formaciones sedimentarias de los últimos 100 años. Este tipo de estudios permiten obtener datos sobre las características deposicionales y post-deposicionales (diagenéticas) de cada muestra (por citar algunos ejemplos: Arribas, 1986; Marfil y Gómez-Gras, 1992; Arribas *et al.*, 2003; González-Acebrón *et al.*, 2010). Diversos autores han señalado que el origen de la matriz no puede ser asociado directamente a un tipo deposicional, sino que los sedimentos arenosos con mucha cantidad de matriz (más de 10-15%) son en general originados por procesos post-deposicionales. Entre estos procesos se pueden citar las infiltraciones de la matriz arcillosa por la acción de organismos o burrowing (Klein, 1963; Coronado Vila y Rodríguez García, 2010; Herringshaw y McIlroy, 2013) y el propio retoque del sedimento por la acción de estos organismos (Martín-Perea y Fesharaki, 2015). La alteración diagenética es otra de las causas más importantes en la generación de matriz. Los estudios de Hollister y Heezen (1964) y Moss (1972) concluyeron que no existen arenas ricas en matriz en sedimentos actuales, por lo que indican que sedimentos y rocas sedimentarias con mucha matriz han tenido que sufrir procesos post-sedimentarios (por ejemplo las grauvas). La clasificación de tipos de matrices que utilizaremos en este capítulo esta basado en la clasificación general de Dickinson (1970) que distingue un tipo deposicional (protomatriz) y tres diagenéticos (ortomatriz, pseudomatriz y epimatriz). Además según la clasificación de Wilson y Pittman (1977) se añaden los términos de *pore lining* y *pore filling* para denominar dos formas de aparición de cementos filosilicáticos. La Figura 5.1 recoge el esquema de nomenclatura de las componentes intersticiales de minerales de la arcilla y otros tipos de matrices en areniscas según la síntesis realizada por Soriano *et al.* (1981) y que reproduce Arribas (1986). Esta clasificación se basa en las propuestas parciales de Dickinson (1970), Wilson y Pittman (1977) y Galloway (1979). El término matriz para esta clasificación se tiene que tomar en el sentido de Dott (1964), es decir, considerando tan solo la fracción inferior a las 30 micras que rellena los espacios intergranulares de una arenisca.

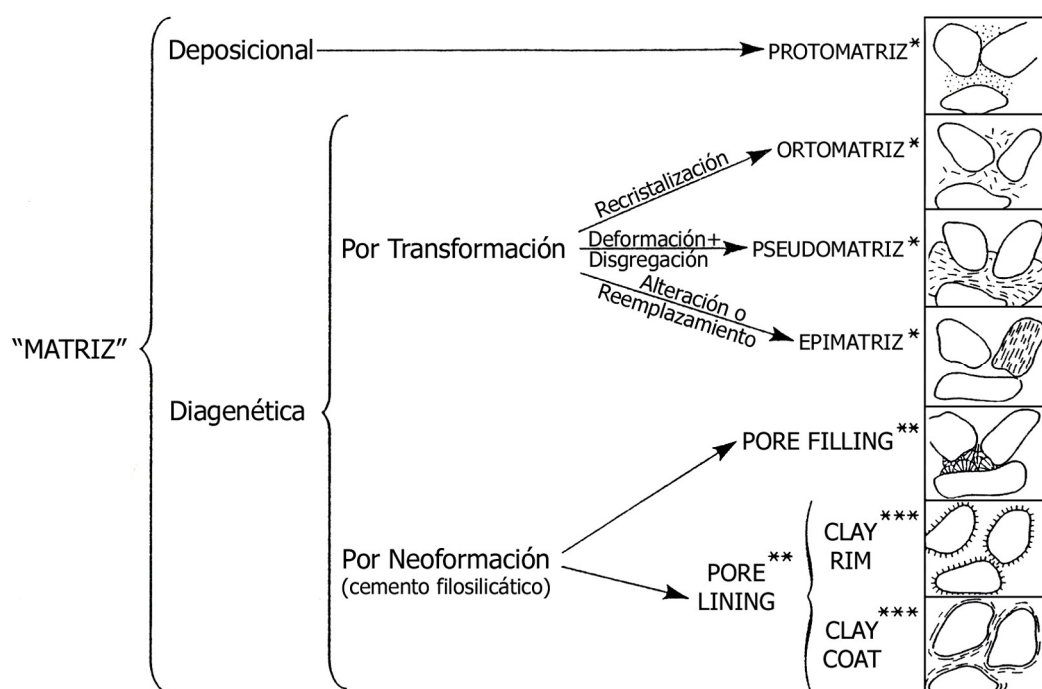


Figura 5.1- Terminología utilizada en la clasificación de los tipos de matrices arcillosas en areniscas (Modificado de Arribas, 1986). *Dickinson (1970); **Wilson y Pittman (1977); ***Galloway (1979).

5.2- Metodología

El análisis de la distribución granulométrica o clastométrica (tamaños de grano) en arenas y areniscas se puede llevar a cabo en lámina delgada, en baterías de tamices, en aparatos granulométricos que barren con láser una capa de muestra, contadores Coulter (propiedades eléctricas), tubos de sedimentación, etc. Cada una de estas técnicas tiene sus ventajas e inconvenientes (precio, cantidad de muestra, tipos de muestra que se pueden analizar, tamaños que se pueden analizar, etc.). En general, si la muestra está poco consolidada (sedimentos no afectados por procesos de cementación ni compactación importantes) el método de las granulometrías por batería de tamizado es un método relativamente fácil, barato y rápido, y permite tener unos resultados para el tamaño de grano de arena bastante fiables. En tamaños más finos, limos y arcillas, es más complicado, ya que a menor tamaño de grano existen mayores fuerzas eléctricas que mantienen unidas las partículas y por lo tanto los datos por tamizado no son tan fiables (se usan el método de tubos de sedimentación o los medidores láser).

Para el estudio de los sedimentos de Somosaguas y Húmera se han seleccionado 77 muestras, obtenidas de 28 niveles de los afloramientos de Somosaguas, 33 de los sondeos de este yacimiento y 16 de los afloramientos de Húmera. Se han utilizado baterías de tamices debido a la baja o nula cementación de las muestras seleccionadas. Para poder llevar a cabo esta metodología se han seguido los siguientes pasos de preparación de las muestras: Se han tratado con agua oxigenada diluida al 30% hasta la completa eliminación de materia orgánica, se han lavado con agua destilada y se han dejado secar a 40°C y cuarteado, cogiendo 200g de cada muestra. Esta cantidad de muestra se ha tamizado en húmedo para eliminar la fracción menor a 0,062 mm (limos y arcillas). La cantidad de sedimento que ha quedado retenida en la malla del tamiz (arenas y en algunos casos gravas finas) se ha secado a 40°C y pasado por una batería de

tamices con aberturas de mallas a un intervalo de medio ϕ . De esta forma se han separado 13 fracciones, cuando existían, en cada muestra. La fracción más gruesa corresponde a la que queda retenida en el tamiz de malla 4 mm y la más fina la retenida en el tamiz de 0,062 mm. Cada una de estas fracciones ha sido de nuevo pesada y por lo tanto los datos obtenidos reflejan los pesos de los granos retenidos en cada una de estas fracciones así como el peso de los granos y partículas que estarían por debajo de los 0,062 mm, sin distinción de sus diferentes fracciones. La eliminación de la fracción limoso-arcillosa genera ciertos errores en la interpretación de los datos por lo que en cada apartado se explica cómo se ha intentado solventar los problemas que se han presentado. Los datos clastométricos permiten su análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros como la media, mediana, desviación estándar, etc., y de parámetros petrográficos a partir de fórmulas de índices estadísticos, como la selección, la asimetría y la curtosis. Las fórmulas que utilizaremos en este trabajo son las propuestas por Folk y Ward (1957) y han sido calculadas con el programa informático GRADISTAT (Tabla 5.1; Blott y Pye, 2001). Además, este mismo programa evalúa la existencia de una, dos o varias modas (distribuciones unimodales, bimodales o polimodales, respectivamente).

Media	Desviación estándar	Asimetría	Curtosis
$Mz = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$	$\sigma_I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$	$Sk_I = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$	$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$
Selección (σ_I)	Asimetría (Sk_I)		Curtosis (K_G)
Muy buena selección	< 0,35	Muy fina + 0,3 a + 1,0	Muy platicúrtica < 0,67
Buena selección	0,35-0,50	Fina + 0,1 a + 0,3	Platicúrtica 0,67 - 0,90
Moderadamente buena selección	0,50-0,70	Simétrica - 0,1 a + 0,1	Mesocúrtica 0,90 - 1,11
Moderada selección	0,70-1,00	Gruesa - 0,1 a - 0,3	Leptocúrtica 1,11 - 1,50
Mala selección	1,00-2,00	Muy gruesa - 0,3 a - 1,0	Muy Leptocúrtica 1,50 - 3,00
Muy mala selección	2,00-4,00		Extremadamente Leptocúrtica > 3,00
Extremadamente mala selección	> 4,00		

Tabla 5.1- Fórmulas y clasificación nominal de características estadísticas de las distribuciones clastométricas (traducido de Folk y Ward, 1957).

En cuanto a la obtención de las muestras para su estudio textural en lámina delgada, primero se han recogido muestras de un total de 56 niveles de los afloramientos y sondeos de Somosaguas y de 16 niveles de los afloramientos de Húmera. Dado que la mayoría de las muestras estaban muy poco consolidadas y para que conservasen su textura original, se ideó un artefacto de aluminio en forma de cubo de 5x5x5 cm con dos de las caras enfrentadas sin tapa, que mediante golpeo se introducía en el sedimento, excavando alrededor y sacando el cubo de material intacto, que se cubría con papel de aluminio hasta su preparación en el laboratorio. Primero se extrajo la humedad de las muestras mediante un liofilizador para poder posteriormente impregnarlas con resina y realizar el proceso de corte y pulido preparatorio de las láminas delgadas. Solo una vez que se habían cortado las muestras y se encontraban totalmente impregnadas de resina y consolidadas se separaban del cubo de aluminio que las protegía. Cada lámina fue posteriormente teñida con cobaltinitrito sódico para la diferenciación de los feldespatos y algunas muestras fueron tratadas con rojo alizarina para la diferenciación de los carbonatos.

En el estudio en lámina delgada se han evaluado las siguientes características texturales de cada muestra: el grado de selección (según el cuadro comparativo visual propuesto por Compton, 1962), la relación esqueleto/pasta (muestras matriz-soportadas o clasto-soportadas, la tipología de las matrices (Arribas, 1986 y citas interiores), la composición y los tipos de cementos, los tipos de contactos entre granos (Griffiths, 1967; Pettijohn *et al.*, 1972 y citas interiores) y la redondez de los granos (según la escala visual propuesta por Powers, 1953). Los rasgos de fragmentación o corrosión (golfos de corrosión) también han sido analizados en cada lámina.

Según Folk (1951; 1974) la madurez textural está condicionada principalmente por tres factores: la selección, la redondez y el porcentaje de matriz arcillosa. Por lo tanto se ha podido asignar un grado de madurez a cada muestra según estas características.

Finalmente, el estudio de las características microtexturales se ha realizado mediante el estudio de muestras en Microscopio Electrónico de Barrido (MEB), que también ha permitido realizar observaciones sobre las texturas superficiales de algunos granos de cuarzo y feldespato, y las características de las partículas micáceas y las relaciones de estos minerales detríticos con las fases minerales autígenicas (principalmente esmectitas). El desarrollo y discusión de este último aspecto se realizará en el capítulo 7.

Se han estudiado los grados de alteración (transformación en minerales de la arcilla) de los granos de plagioclasas, asignando a cada grano contabilizado durante el conteo petrográfico de algunas muestras procedentes del área de Somosaguas un grado de alteración entre 1 y 4, siendo 1 los mejor preservados (< 25% de la superficie alterada a arcillas) y 4 los más alterados (> 75% de la superficie del mineral transformado en arcillas). Para comprobar su eficacia como un indicador paleoclimático se ha utilizado de forma preliminar tan solo en los tramos T1 a T3, por ser estos tramos los que ya han sido analizados mediante estudios paleontológicos e isotópicos para inferir condiciones paleoclimáticas y permiten la comparación con los datos obtenidos.

5.3- Resultados de las Distribuciones Clastométricas

Los valores de los pesos de las trece fracciones de las muestras tamizadas (Anexo I), según la metodología descrita en el apartado anterior, se han utilizado para obtener los porcentajes en peso de cada fracción, así como las frecuencias acumuladas. Estos valores se han utilizado para la representación gráfica de las curvas clastométricas y que se muestran de dos formas diferentes; por una parte se muestran ejemplos de histogramas obtenidos para los valores de peso de cada fracción, y por otra parte, gráficas de distribuciones clastométricas sobre escala probabilística tomando los valores de las frecuencias acumuladas. Este último tipo de representación proporciona distribuciones de tamaños que suelen estar compuestos por dos o más segmentos de diferente pendiente que se cruzan en los denominados puntos de truncación. Según diversos autores (Visser, 1969; Middleton, 1976; Viard y Breyer, 1979; Eschner y Kircher, 1984; Palomares *et al.*, 1990; Tortosa *et al.*, 1997; Silva *et al.*, 1999, entre otros) la presencia de estos puntos es indicativa de diferentes mecanismos de transporte (rólido o tracción, saltación y suspensión), y pueden presentarse uno, dos o tres, definiendo hasta cuatro segmentos. Hay que tener en cuenta varios aspectos en la preparación, construcción e interpretación de estos diagramas: (1) se deben dibujar líneas que al menos unan tres puntos de la distribución (Viard y Breyer, 1979), (2) normalmente los puntos correspondientes a la fracción más fina y a la más gruesa

analizadas quedan fuera de los segmentos (efecto de las colas de las distribuciones clastométricas), ya que no se tienen en consideración las partículas de limos y arcillas, ni se hace una separación de todas las posibles fracciones de tamaño grava, (3) la recta de mayor pendiente (que indica la mejor selección de tamaños) se asigna a la subpoblación transportada por saltación, ya que en este tipo de mecanismo de transporte hay una mayor homogeneidad de los tamaños de grano, (4) finalmente, es posible que existan dos subpoblaciones de saltación en determinados tipos de ambientes.

5.3.1- *Sedimentos de los Yacimientos de Somosaguas*

Las clastometrías, expresadas en forma de porcentaje de peso retenido por cada malla y representadas en histogramas, de las muestras de Somosaguas (tanto de afloramientos como de sondeos), presentan morfologías muy variadas. Se observan algunas morfologías representativas (Figuras 5.2 y 5.3) de los diferentes tipos observados: (a) muestras con asimetría hacia los finos y mal seleccionadas (S-1a, SN-5-3), (b) muestras con asimetría hacia los finos y moderadamente bien seleccionadas (3-3), (c) muestras con asimetría hacia los gruesos (4-8t; SN-3-3), (d) muestras relativamente simétricas (4-5), (e) muestras mal seleccionadas con asimetría hacia los finos y una fracción destacada (SN-5-11), (f) muestras muy mal seleccionadas (SN-2-4).

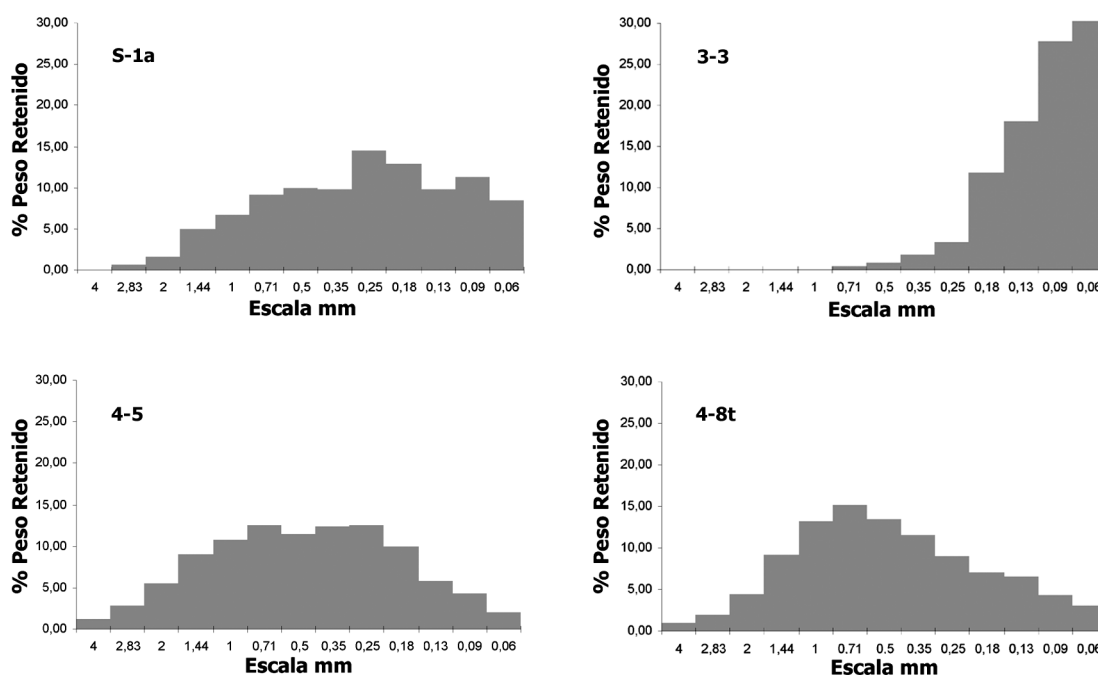


Figura 5.2- Histogramas de algunos niveles de los afloramientos del yacimiento de Somosaguas con distribuciones clastométricas de morfologías significativas.

En cuanto a las representaciones de las frecuencias acumuladas sobre escala probabilística (Visher, 1969) se han obtenido distribuciones clastométricas con dos, uno o ningún punto de truncación (Figura 5.4) y por lo tanto que presentan tres, dos o un solo segmento (Tabla 5.2). Como se puede observar en las figuras y tablas antes mencionadas la posición de los puntos de truncación y el porcentaje de frecuencia que representan es muy variable. Sin embargo se observan tendencias generales en cuanto a su distribución: (a) muestras con un único segmento y sin puntos de truncación, que en algunas ocasiones pueden estar formadas por dos rectas muy cercanas y paralelas, y que, en general, presentan pendientes medias indicativas de una pobre a moderada

selección, y que aparecen en la mayoría de los tramos, especialmente en los formados por arenas micáceas, (b) muestras con dos segmentos de los que la perteneciente a los valores más gruesos está más verticalizada y cuyos puntos de truncación están en valores bajos de ϕ (-0,38 a 0,64) y se asocian principalmente a los tramos T3 y T-2, (c) muestras con dos segmentos en los que la recta de las fracciones más finas es la más verticalizada y cuyos puntos de truncación están en un rango amplio de valores altos de ϕ (1,38 a 2,40) y son recurrentes en muchos tramos, especialmente en tramos con litologías de arenas micáceas, (d) muestras con tres segmentos en los que el segmento intermedio es el de menor pendiente y cuyos puntos de truncación son variables entre -0,52 y 0,68 ϕ para gruesos y entre 2,05 y 2,45 ϕ para los finos, representando en general niveles de los tramos T0, T1 y T3.

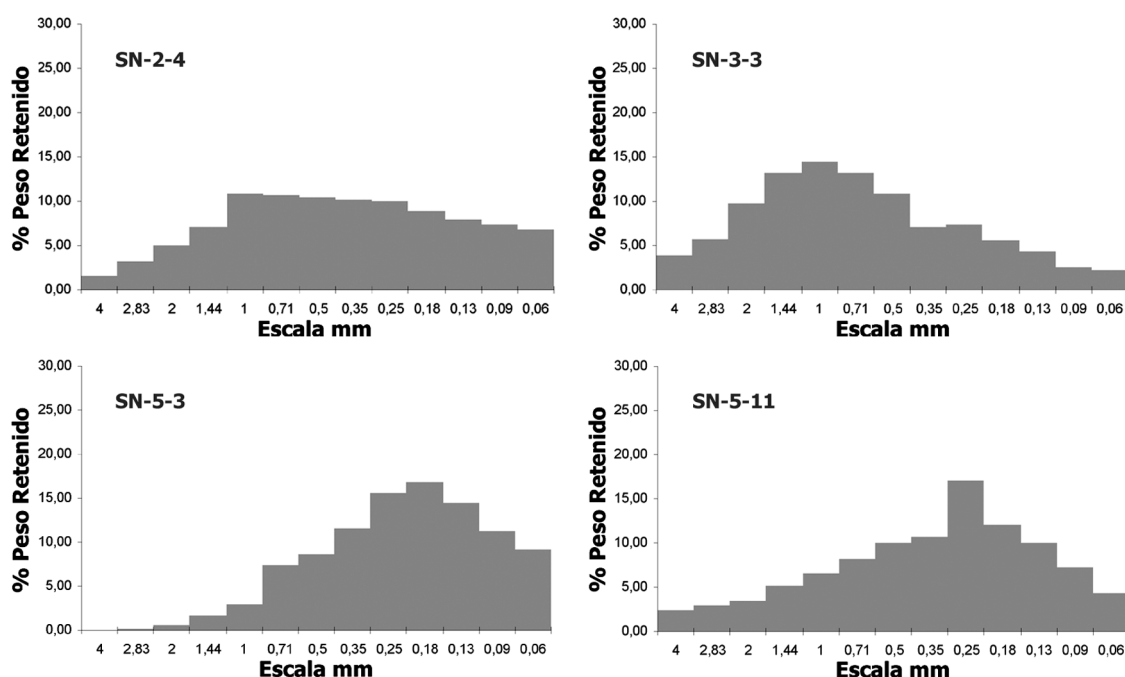


Figura 5.3- Histogramas de algunos niveles de los sondeos del yacimiento de Somosaguas con distribuciones clastométricas de morfologías significativas.

En la Tabla 5.2 también se muestran los valores estadísticos obtenidos de la media, la mediana, la selección, la asimetría, la curtosis y el tipo de moda (unimodal, bimodal o polimodal). Estos valores se presentan en la escala ϕ , aunque hay una correspondencia directa con los valores en milímetros (diámetro $\phi = -\log_2$ diámetro mm). Se observa que la media varía entre 3,404 y 0,284 ϕ , aunque la mayoría de las muestras presentan medias entre 2,5 y 0,8 ϕ . La mediana también presenta una gran variabilidad con valores máximos de 3,5 y mínimos de 0,1 ϕ . La selección es en la gran mayoría de las muestras mala (pobrementemente seleccionada), siendo moderadamente bien seleccionada en las muestras pertenecientes a la mayoría de los niveles de arenas micáceas de los tramos T2 y T4. La mayoría de las curvas son asimétricas tanto positivas como negativas, aunque algunas muestras presentan curvas simétricas, principalmente hacia el muro y la parte media de la sucesión sedimentaria. La mayoría de las muestras son mesocúrticas o platicúrticas, pero de nuevo hay una característica diferencial para los niveles de arenas micáceas que son en varias muestras leptocúrticas.

Tramo	Muestra	S*	Truncación (Φ)	Media (Φ)	Mediana (Φ)	Selección (Sorting)	Asimetría (Skewness)	Curtosis (Kurtosis)	Moda
T6?	7-2	2	2,25	2,450	2,558	1,102 P.S.	-0,219	0,986 (M)	U
	7-1	1	-	2,356	2,495	1,144 P.S.	-0,215	0,915 (M)	U
T5	6-6	1	-	1,951	2,180	1,444 P.S.	-0,264	0,902 (M)	U
	6-5	1	-	1,862	1,969	1,323 P.S.	-0,128	0,863 (P)	U
T4	6-4	1	-	3,360	3,511	0,604 M.B.S	-0,486	1,176 (L)	U
	6-2	1	-	3,404	3,536	0,557 M.B.S	-0,471	1,163 (L)	U
T3	N-4.6	2	0,15	1,836	2,101	1,519 P.S.	-0,271	0,812 (P)	B
	N-4.5	2	0,21	1,039	0,895	1,478 P.S.	0,132	0,909 (M)	U
	N-4.4	2	0,26	0,960	0,809	1,478 P.S.	0,147	0,920 (M)	U
	N-4.3	2	0,52	0,699	0,517	1,493 P.S.	0,181	0,927 (M)	B
	N-4.2	1	-	1,868	2,166	1,480 P.S.	-0,303	0,842 (P)	B
	N-4.1	2	0,64	0,755	0,601	1,465 P.S.	0,157	0,956 (M)	U
	4-8 t	2	0,57	0,827	0,684	1,418 P.S.	0,144	0,944 (M)	U
	4-8 b	3	0,68; 2,32	1,881	2,177	1,487 P.S.	-0,307	0,852 (P)	B
	3-13	3	0,38; 2,33	1,784	2,019	1,543 P.S.	-0,243	0,863 (P)	U
T2	4-5	1	-	0,831	0,857	1,433 P.S.	-0,010 (S)	0,895 (P)	B
	S-10	1	-	2,548	2,776	1,169 P.S.	-0,361	1,039 (M)	U
	S-8	1	-	2,614	2,812	1,083 P.S.	-0,338	1,030 (M)	U
	3-7	1	-	3,115	3,365	0,845 M.S.	-0,514	1,031 (M)	U
	S-6	2	2,40	2,675	2,853	1,039 P.S.	-0,335	1,066 (M)	U
	S-4	2	2,18	3,001	3,092	0,799 M.S.	-0,299	1,132 (L)	U
	4-2	2	2,09	3,159	3,229	0,592 M.B.S	-0,207	0,898 (P)	U
	3-3	2	2,21	3,149	3,251	0,667 M.B.S	-0,287	0,899 (P)	U
	S-2	2	1,95	3,073	3,152	0,674 M.B.S	-0,225	0,911 (M)	U
T1	N-1	3	0,25; 2,06	1,697	1,895	1,498 P.S.	-0,202	0,884 (P)	U
	4-1	3	0,15; 2,14	1,730	1,908	1,450 P.S.	-0,191	0,865 (P)	U
	3-1	3	0,13; 2,28	1,846	2,078	1,461 P.S.	-0,244	0,862 (P)	U
	S-1a	2	0,09	1,673	1,748	1,442 P.S.	-0,096 (S)	0,850 (P)	Po
	SN-1-10	2	2,02	1,548	1,684	1,471 P.S.	-0,147	0,915 (M)	U
T0	SN-1-8	2	2,33	1,552	1,754	1,630 P.S.	-0,207	0,871 (P)	Po
	SN-1-6	1	-	1,758	1,877	1,373 P.S.	-0,138	0,882 (P)	B
	SN-1-2	3	-0,46; 2,44	1,550	1,565	1,385 P.S.	-0,047 (S)	0,903 (M)	U
	SN-1-1	3	-0,52; 2,39	1,227	1,272	1,427 P.S.	-0,047 (S)	0,922 (M)	U
	SN-2-11	1	-	1,205	1,196	1,561 P.S.	-0,007 (S)	0,930 (M)	B
	SN-2-8	1	-	1,427	1,324	1,349 P.S.	0,077 (S)	0,946 (M)	U
	SN-3-13	1	-	1,283	1,206	1,469 P.S.	0,046 (S)	0,877 (P)	U
	SN-5-17	1	-	1,352	1,330	1,527 P.S.	-0,021 (S)	0,960 (M)	B
	SN-5-16	1	-	1,877	1,887	1,345 P.S.	-0,079 (S)	1,009 (M)	U
T-1	SN-5-15	1	-	1,846	1,879	1,338 P.S.	-0,075 (S)	0,941 (M)	U
	SN-5-13	1	-	1,792	1,808	1,335 P.S.	-0,050 (S)	0,958 (M)	U
	SN-2-6	1	-	1,731	1,850	1,363 P.S.	-0,140	0,953 (M)	U
T-2	SN-2-1	1	-	1,387	1,308	1,408 P.S.	0,038 (S)	0,941 (M)	B
	SN-2-4	1	-	1,121	1,061	1,645 P.S.	0,031 (S)	0,848 (P)	B
	SN-3-3	2	0,44	0,284	0,115	1,506 P.S.	0,168	0,954 (M)	B
	SN-3-6	2	2,36	1,589	1,697	1,418 P.S.	-0,145	0,983 (M)	U
	SN-3-9	1	-	1,339	1,440	1,556 P.S.	-0,099 (S)	0,866 (P)	B
	SN-3-11	2	-0,38	1,327	1,438	1,544 P.S.	-0,103	0,873 (P)	U
	SN-4-9	1	-	1,072	1,073	1,659 P.S.	-0,015 (S)	0,840 (P)	U
	SN-4-12	1	-	1,239	1,237	1,560 P.S.	-0,017 (S)	0,890 (P)	B
	SN-4-14	1	-	1,236	1,176	1,568 P.S.	0,028 (S)	0,851 (P)	Po
T-3	SN-3-1	2	1,38	2,192	2,197	1,201 P.S.	-0,097 (S)	0,996 (M)	U
	SN-4-1	1	-	1,953	2,073	1,239 P.S.	-0,155	0,915 (M)	U
	SN-4-4	1	-	0,696	0,654	1,639 P.S.	0,036 (S)	0,911 (M)	B
	SN-4-6	1	-	0,981	1,090	1,783 P.S.	-0,083 (S)	0,859 (P)	B
	SN-5-11	2	1,46	1,320	1,534	1,542 P.S.	-0,217	0,984 (M)	U
T-4	SN-5-8	2	1,83	2,480	2,586	1,075 P.S.	-0,258	1,130 (L)	U
	SN-5-9	1	-	1,730	1,740	1,181 P.S.	-0,043 (S)	1,030 (M)	U
	SN-5-10	1	-	1,584	1,644	1,442 P.S.	-0,094 (S)	0,975 (M)	U
T-5	SN-5-3	1	-	1,986	2,053	1,197 P.S.	-0,094 (S)	0,927 (M)	U
	SN-5-5	2	1,85	1,393	1,453	1,536 P.S.	-0,097 (S)	0,931 (M)	U
	SN-5-6	2	1,58	1,307	1,526	1,568 P.S.	-0,222	1,021 (M)	U

En cuanto a las modas se observa que predominan las distribuciones unimodales, aunque también hay distribuciones bimodales y algunas polimodales (principalmente trimodales). Se observa que las arenas micáceas son siempre unimodales, mientras que son mucho menos homogéneas otras litologías que presentan tanto distribuciones unimodales como bimodales.

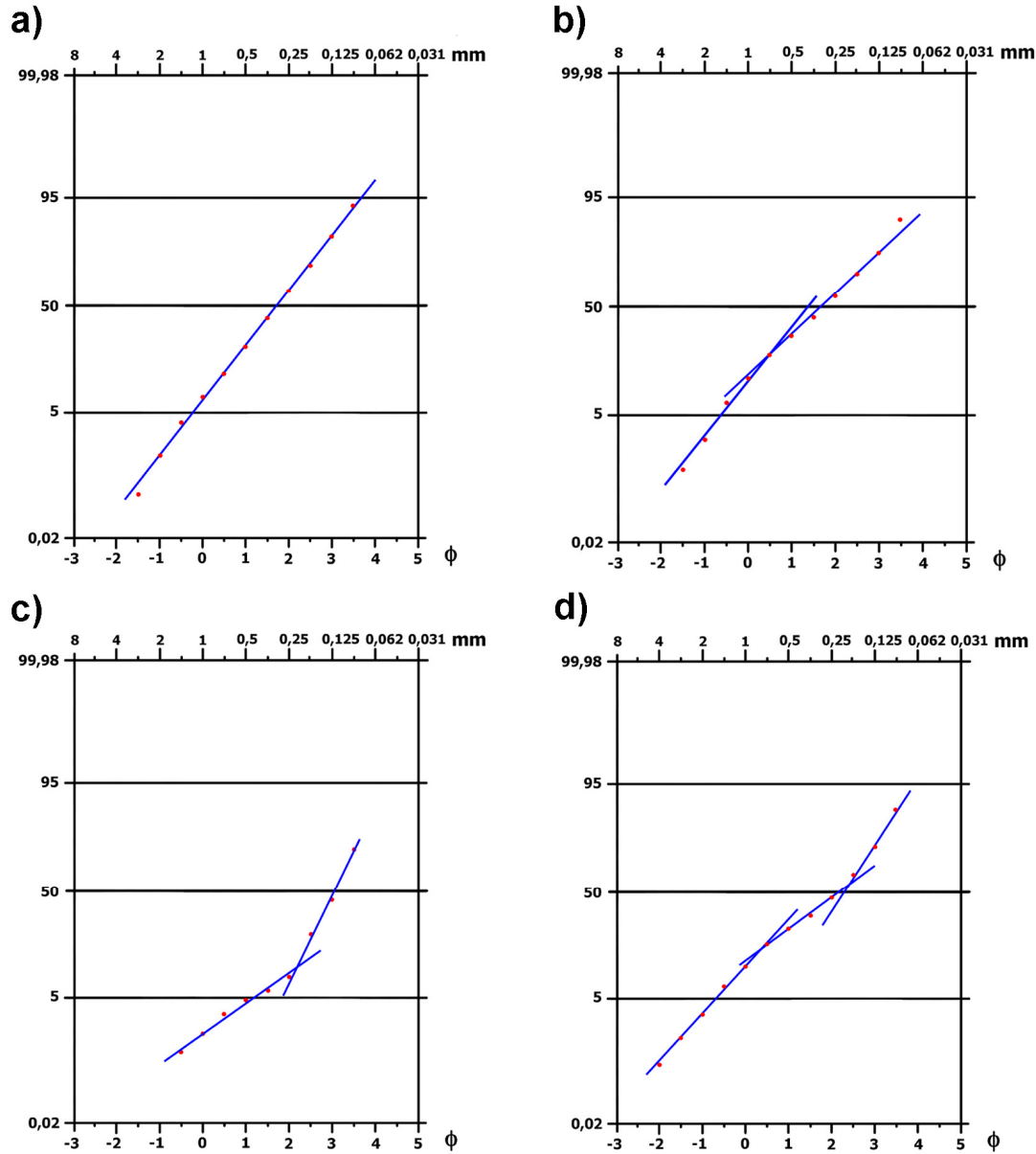


Figura 5.4- Representaciones de las frecuencias acumuladas de las distribuciones clastométricas sobre escala probabilística de algunas muestras de sedimentos del área de estudio con diferentes tipos de morfologías significativas.

Tabla 5.2- (Página anterior) Datos de la caracterización de las distribuciones clastométricas de las muestras analizadas de cada tramo del yacimiento de Somosaguas (todos los valores están en escala ϕ). P.S. = pobremente seleccionada; M.B.S. = moderadamente bien seleccionadas; M.S. = moderadamente seleccionadas; M = mesocúrtica; P = platicúrtica; L = leptocúrtica; S = simétrica; U = unimodal; B = bimodal; Po = polimodal; S* = número de segmentos.

Tramo	Muestra	%lodo	% arena	% grava	Clasificación
T6?	7-2	51,10	48,60	0,30	(g)sM
	7-1	47,50	52,50	0,00	(g)mS
T5	6-6	36,20	61,25	2,55	(g)mS
	6-5	40,90	58,40	0,70	(g)mS
T4	6-4	70,95	29,05	0,00	(g)sM
	6-2	70,55	29,45	0,00	(g)sM
T3	N-4.6	30,05	66,85	3,10	(g)mS
	N-4.5	32,15	63,65	4,20	(g)mS
	N-4.4	30,25	65,05	4,70	(g)mS
	N-4.3	19,01	73,05	7,85	gmS
	N-4.2	26,10	70,95	2,95	(g)mS
	N-4.1	16,45	76,35	7,20	gmS
	4-8t	30,00	64,80	5,20	gmS
	4-8b	24,95	71,75	3,30	(g)mS
	3-13	26,00	70,20	3,80	(g)mS
	4-5	11,70	79,80	8,50	gmS
T2	S-10	40,15	59,10	0,75	(g)mS
	S-8	42,05	57,80	0,15	(g)mS
	3-7	65,60	34,40	0,00	(g)sM
	S-6	48,80	51,20	0,00	(g)mS
	S-4	59,15	40,85	0,00	(g)sM
	4-2	64,20	35,80	0,00	(g)sM
	3-3	62,75	37,25	0,00	(g)sM
	S-2	61,65	38,35	0,00	(g)sM
	N-1	30,65	66,15	3,20	(g)mS
	4-1	34,50	63,20	2,30	(g)mS
T1	3-1	30,00	67,80	0,00	(g)mS
	S-1a	63,85	35,30	0,85	(g)sM
	SN-1-10	35,80	60,90	3,30	(g)mS
	SN-1-8	50,30	45,75	3,95	(g)sM
	SN-1-6	41,90	56,90	1,20	(g)mS
T0	SN-1-2	45,70	52,60	1,70	(g)mS
	SN-1-1	37,15	59,20	3,65	(g)mS
	SN-2-11	37,10	57,80	5,10	gmS
	SN-2-8	43,65	54,70	1,65	(g)mS
	SN-3-13	35,55	60,10	4,35	(g)mS
	SN-5-17	38,60	57,05	4,35	(g)mS
	SN-5-16	53,75	44,90	1,35	(g)sM
	SN-5-15	48,55	50,55	0,90	(g)mS
	SN-5-13	48,40	50,70	0,90	gmS
	SN-2-6	50,55	48,35	1,10	(g)sM
T-2	SN-2-1	46,40	50,95	2,65	(g)mS
	SN-2-4	41,80	52,50	5,70	gsM
	SN-3-3	36,50	51,25	12,25	gmS
	SN-3-6	39,05	57,80	3,15	(g)mS
	SN-3-9	37,15	58,50	4,35	(g)mS
	SN-3-11	35,55	60,1	4,35	(g)mS
	SN-4-9	34,45	58,25	7,30	gmS
	SN-4-12	40,50	55,05	4,45	(g)mS
	SN-4-14	37,35	58,25	4,40	(g)mS
	SN-3-1	47,45	52,05	0,50	(g)mS
T-3	SN-4-1	52,90	46,70	0,40	(g)sM
	SN-4-4	35,85	54,15	10,00	gmS
	SN-4-6	38,40	52,00	9,60	gmS
	SN-5-11	42,70	52,30	5,00	gmS
	SN-5-8	41,00	58,30	0,70	(g)mS
T-4	SN-5-9	47,35	52,05	0,60	(g)mS
	SN-5-10	33,05	63,75	3,20	(g)mS
T-5	SN-5-3	40,35	59,30	0,35	(g)mS
	SN-5-5	40,05	55,70	4,25	(g)mS
	SN-5-6	39,00	55,25	5,75	gmS

Tabla 5.3- Porcentajes de grava, arena y lodo (limo + arcilla) de las muestras de sedimentos del yacimiento de Somosaguas. La clasificación se hace según la terminología propuesta por Blair y McPherson (1999). Las siglas usadas en la tabla son las mismas de la Figura 5.5, en cuyo pie se explican.

También se ha analizado la distribución del porcentaje de grava (más de 2 mm), arena (entre 0,062 y 2 mm) y limo + arcilla (por debajo de los 0,062 mm) en cada una de las muestras (Tabla 5.3). Estos datos permiten la clasificación nominal de las muestras según el diagrama triangular (Figura 5.5) propuesto por Folk *et al.* (1970) y modificado por Blair y McPherson (1999).

5.3.2- *Sedimentos del Yacimiento de Húmera*

Las clastometrías, expresadas en forma de porcentaje de peso retenido por cada malla y representadas en histogramas, de las muestras de Húmera, presentan morfologías variadas. Se observan algunas morfologías representativas (Figura 5.6) de los diferentes tipos observados: (a) muestras mal seleccionadas y con marcada asimetría hacia los finos (NH1-1), (b) muestras moderadamente seleccionadas y con asimetría hacia los finos (NH3), (c) muestras con asimetría hacia los gruesos y mala selección (WH2-1b), (d) muestras relativamente simétricas (WH1-2).

En cuanto a las representaciones de las frecuencias acumuladas sobre escala probabilística (Visher, 1969) se han obtenido distribuciones clastométricas muy similares a las comentadas para los yacimientos de Somosaguas (Figura 5.4). En este caso no se han obtenido curvas con un único segmento bien definido, aunque algunos casos presentaban cierta complejidad y se ha optado por representar dos segmentos pudiendo ser solo uno a falta de tener los valores de los granos más finos (limos y arcillas). La morfología más repetida es la “b”, aunque la “c” y “d” también están presentes en varias muestras (Figura 5.4). A pesar de la gran semejanza que a simple vista muestran los niveles de Húmera Norte y Oeste, se diferencian claramente en sus curvas clastométricas con casos extremos como las muestras del tramo H3 que en HW3 presenta 2 puntos de truncación y en HN3 solo 1. Otro dato interesante que se obtiene de la observación de las curvas de estos niveles es el posible paso de unas morfologías a otras dentro de un mismo “nivel”. Así parece que las morfologías “a” y “b” están relacionadas, siendo “a” la morfología de mayor energía. También se han observado casos difíciles de interpretar en los que la curva podría ser una mezcla de los tipos “c” y “d”. Por lo tanto no se puede descartar que estas morfologías representen variaciones laterales de un mismo proceso que tenga mayor energía en unos puntos y menor en otros.

En la Tabla 5.4 se muestran los valores estadísticos obtenidos de la media, la mediana, la selección, la asimetría, la curtosis y el tipo de moda (unimodal, bimodal o polimodal) para los sedimentos de este yacimiento. Estos valores se presentan en la escala ϕ ($\phi = -\log_2$ diámetro mm). Se observa que la media varía entre 3,495 y 0,511 ϕ . La mediana también presenta una gran variabilidad con valores máximos de 3,5 y mínimos de 0,3 ϕ . La selección es mala (pobrementemente seleccionada), menos en las muestras situadas a techo de la sucesión que llega a ser moderadamente buena. Como en el caso de Somosaguas aquí también es el tramo H4 (con ciertas similitudes a las arenas micáceas) el que presenta la mejor selección. La mayoría de las curvas presentan asimetría negativa, aunque las muestras del nivel H2-1 presentan curvas simétricas a techo y de simetría positiva a base. Los tramos H1 y H3 se caracterizan por curvas mesocúrticas mientras que el tramo H2 presenta curvas de morfología platicúrtica y de nuevo en un tramo con niveles similares a las arenas micáceas aparecen las morfologías leptocúrticas (H4). En cuanto a las modas se observa

que solo las muestras del tramo H2 son bi o polimodales, mientras que el resto de tramos muestran curvas con una única moda (unimodales).

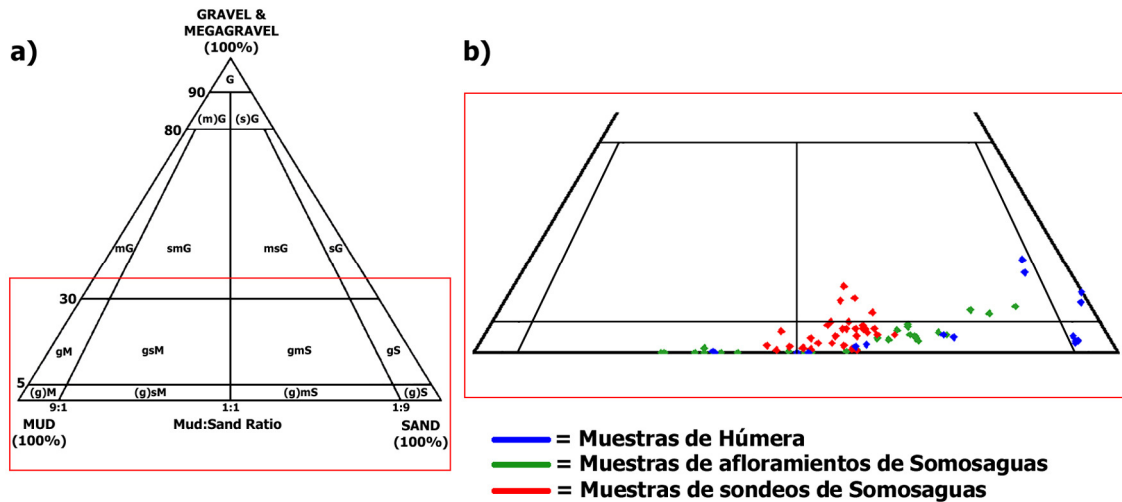


Figura 5.5- a) Diagrama triangular Grava-Lodo-Arena de clasificación textural según Blair y McPherson (1999), modificada de Folk *et al.* (1970). G es grava (gravel), S es arena (sand), M es lodo (mud), g es gravoso, s es arenoso, m es lodoso o arcilloso. Los paréntesis indican que la fracción está presente en baja proporción, por ejemplo (g) es ligeramente gravoso; b) sección del diagrama aumentado para reflejar los campos ocupados por las muestras estudiadas en los yacimientos de Somosaguas y Húmera.

Tramo	Muestra	S*	Truncación (Φ)	Media (Φ)	Mediana (Φ)	Selección (Sorting)	Asimetría (Skewness)	Curtosis (Kurtosis)	Moda
H4	HW4	2	1,05	3,495	3,584	0,515 M.B.S	-0,465	1,367 L	U
	HN4	2	1,15	3,459	3,587	0,601 M.B.S	-0,539	1,550 ML	U
H3	HW3	3	0,26; 2,37	2,651	2,775	1,059 P.S.	-0,282	1,017 M	U
	HN3	2	2,32	2,697	2,791	0,980 M.S.	-0,238	1,006 M	U
H2	HW2-3	3	-0,42; 2,27	1,749	1,873	1,383 P.S.	-0,154	0,878 P	B
	HN2-3	3	-0,11; 1,62	1,738	1,844	1,404 P.S.	-0,134	0,888 P	B
	HW2-2	2	-0,42	1,520	1,618	1,371 P.S.	-0,116	0,885 P	B
	HN2-2	3	0,22; 2,32	1,497	1,608	1,388 P.S.	-0,130	0,873 P	B
	HW2-1t	3	0,08; 1,64	0,925	0,885	1,605 P.S.	0,031 S	0,834 P	Po
	HN2-1t	2	-0,08	0,982	0,977	1,519 P.S.	0,006 S	0,851 P	B
	HW2-1b	2	-0,25	0,574	0,438	1,573 P.S.	0,113	0,871 P	B
	HN2-1b	2	-0,32	0,511	0,373	1,622 P.S.	0,116	0,848 P	B
H1	HW1-2	3	-0,75; 2,26	1,711	1,797	1,425 P.S.	-0,123	0,946 M	U
	HN1-2	2	-0,30	1,683	1,824	1,470 P.S.	-0,163	0,916 M	U
	HW1-1	2	2,27	2,080	2,248	1,285 P.S.	-0,233	1,001 M	U
	HN1-1	2	1,74	1,944	2,122	1,354 P.S.	-0,221	0,962 M	U

Tabla 5.4- Datos de la caracterización de las distribuciones clastométricas de las muestras analizadas de cada tramo del yacimiento de Húmera. P.S. = pobremente seleccionada; M.B.S. = moderadamente bien seleccionada; M.S. = moderadamente seleccionada; M = mesocúrtica; P = platicúrtica; L = leptocúrtica; M.L. = muy leptocúrtica; S = simétrica; U = unimodal; B = bimodal; Po = polimodal; S* = número de segmentos.

La Tabla 5.5 muestra los datos de la distribución del porcentaje de grava (más de 2 mm), arena (entre 0,062 y 2 mm) y limo + arcilla (por debajo de los 0,062 mm) en cada una de las muestras del yacimiento de Húmera. Al igual que para los sedimentos del yacimiento de Somosaguas se incluye una clasificación nominal de las muestras según la terminología de Folk *et al.* (1970) y la modificación propuesta por Blair y McPherson (1999) según el diagrama triangular de la Figura 5.5.

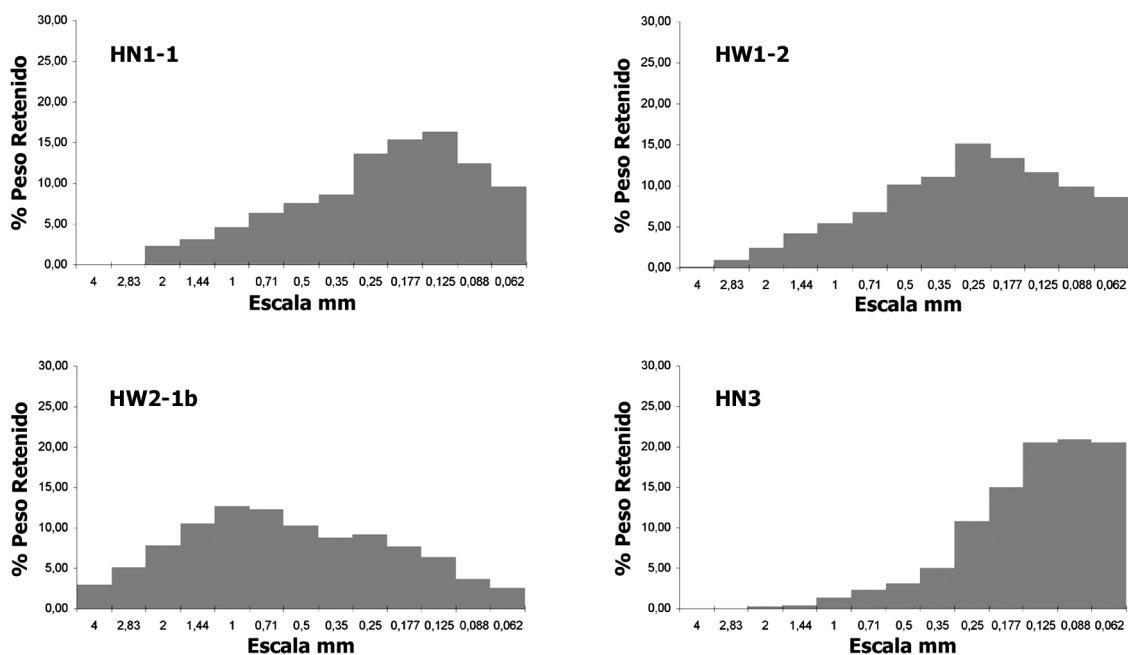


Figura 5.6- Histogramas de algunos niveles de los afloramientos del yacimiento de Húmera con distribuciones clastométricas de morfologías significativas.

Tramo	Muestra	%lodo	% arena	% grava	Clasificación
H4	HW4	48,15	51,85	0,00	(g)mS
	HN4	51,05	48,95	0,00	(g)mS
H3	HW3	62,95	36,90	0,15	(g)sM
	HN3	62,50	37,40	0,10	(g)sM
H2	HW2-3	5,60	92,20	2,20	(g)S
	HN2-3	4,80	92,75	2,45	(g)S
	HW2-2	5,35	91,50	3,15	(g)S
	HN2-2	5,60	90,90	3,50	(g)S
	HW2-1t	0,15	88,65	11,20	gS
	HN2-1t	0,95	90,30	8,75	gS
	HW2-1b	7,10	78,10	14,80	gmS
	HN2-1b	6,20	76,60	17,20	gmS
H1	HW1-2	24,20	73,05	2,75	(g)mS
	HN1-2	25,55	71,15	3,30	(g)mS
	HW1-1	40,25	58,70	1,05	(g)mS
	HN1-1	38,35	60,20	1,45	(g)mS

Tabla 5.5- Porcentajes de grava, arena y lodo (limo + arcilla) de las muestras de sedimentos del yacimiento de Húmera. La clasificación se hace según la terminología propuesta por Blair y McPherson (1999) basada en el triángulo de clasificación textural (Figura 5.5) de Folk *et al.* (1970). Las siglas usadas en esta tabla son las mismas que las explicadas en el pie de la figura.

5.4- Resultados Texturales

5.4.1- Sedimentos de los Yacimientos de Somosaguas

La tabla del Anexo II recoge los datos obtenidos de las observaciones texturales realizadas en lámina delgada para los sedimentos de Somosaguas (tanto afloramientos como sondeos). De forma general se puede decir que la selección es siempre pobre (Figura 5.7a) menos en los niveles de arenas con micas (arenas finas y muy finas con mucha mica) en los que llega a ser moderada. La redondez en la gran mayoría de los casos toma valores intermedios de la clasificación de Powers (1953) estando

compuestos por granos subangulosos o subredondeados aproximadamente en igual proporción. Solo algunos niveles tienen granos mayoritariamente subangulosos o subredondeados. Siempre hay una proporción de granos muy angulosos o muy redondeados, sin embargo nunca superan el 10%, estando, en general, en torno al 4-5% de los granos analizados (Figura 5.7b-c). Se ha observado en casi la totalidad de los niveles evaluados una proporción de 2 a 5% de granos de cuarzo con golfos de corrosión (Figura 5.7d). En cuanto a la relación entre el esqueleto y la matriz se observa que predominan claramente las muestras matriz-soportadas (en algunos casos con hasta un 75-80% de matriz), pero también hay muestras clasto-soportadas, más comunes en los tramos de la mitad inferior de la sucesión sedimentaria. En algunos casos se observa una variación en el contenido de matriz hacia techo de un mismo nivel, existiendo tanto los pasos de matriz-soportado a clasto-soportado como los pasos contrarios. En todas las muestras se ha observado que la mayor proporción de matriz es del tipo deposicional (protomatriz), sin embargo, como se detallará en el capítulo 7, la existencia de recubrimientos de arcillas neoformadas (esmeclitas) en la mayoría de las muestras genera matrices de tipo *clay coat*, *clay rim* y *pore filling* (Figura 5.7e-f). La epimatriz (feldespatos reemplazados por minerales de la arcilla) está presente en muchas muestras (Figura 5.7g) pero siempre en un porcentaje pequeño, ya que como se comentará más adelante los feldespatos y en especial las plagioclasas muestran grados de alteración variables. En los casos en los que está presente se diferencia por la presencia de un “grano” pseudomorfo del feldespato que está totalmente sustituido por cristales de illita y otros minerales de la arcilla creciendo según dos direcciones perpendiculares u oblicuas. No parece que haya una relación unívoca entre tipo de litología o tramo con el tipo de matriz que presentan. Los contactos entre clastos existen en todas las muestras aunque son muy minoritarios en las muestras matriz-soportadas (Figura 5.7h). En estas muestras prevalece la ausencia de contactos (contactos flotantes) y se observan localmente contactos puntuales. En las muestras que son clasto-soportadas (Figura 5.7i) el contacto que predomina es el puntual, aunque están presentes los contactos largos y en algunas zonas de la lámina se observa la ausencia de contactos (contactos flotantes). Al igual que las tipologías de matrices, tan solo hay, como es normal, una relación con el contenido en matriz, pero no con las litologías ni los diferentes tramos. En las muestras de Somosaguas no se han observado cementos de precipitación química en su sentido más estricto, aunque sí existen arcillas neoformadas que rellenan poros y recubren granos actuando en algunas zonas como verdaderos cementos filosilicáticos (Figura 5.7h-i).

En relación con los grados de alteración de las plagioclasa se han obtenido resultados que quedan reflejados en la Tabla 5.6 pero se valoran por tramos para reflejar mejor las posibles diferencias que se han observado. La Figura 5.8 muestra ejemplos de los 4 grados de alteración de granos de plagioclasa y los histogramas que muestran la variación del número de granos de cada tipo en los tres tramos estudiados. Se observa como los granos que tienen grados de alteración bajos (grados 1 y 2) aumentan de T1 a T3 mientras que los granos más alterados (grados 3 y 4) disminuyen en el mismo sentido. Los feldespatos presentan diversos grados de disolución y muestran “texturas superficiales” de sus granos indicativas de la disolución en *pits*, en zonas de debilidad y siguiendo planos de maclado o exfoliación (Figura 5.9). Se observan casos extremos con granos de bordes puntiagudos (casi aciculares) o islas de disolución y texturas botroidales. Se observa un caso de fracturación y disolución con recrecimiento de cristales sobre el plano de la fractura (Figura 5.9f).

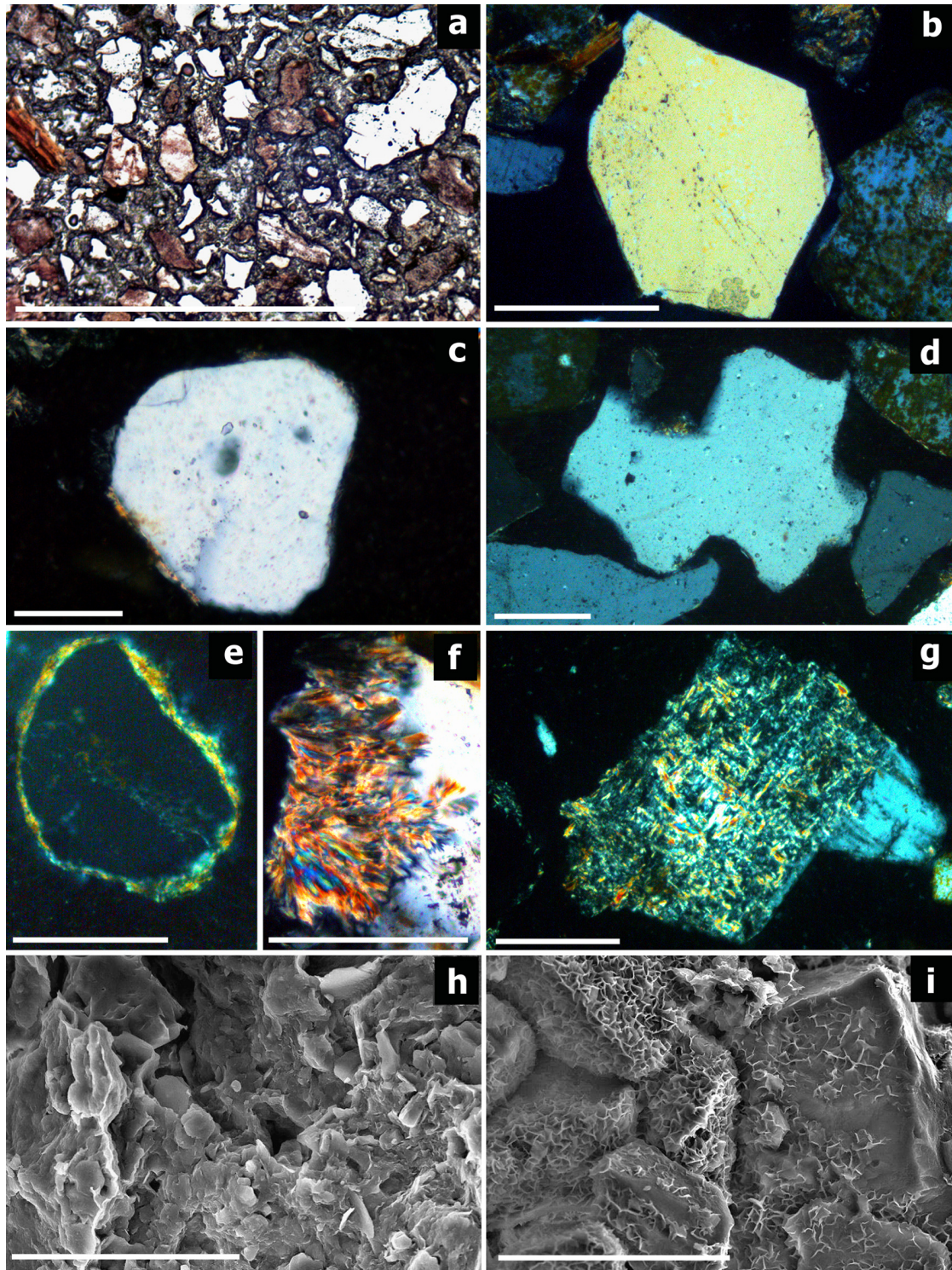


Figura 5.7- Imágenes de microscopio de luz transmitida y MEB de muestras del yacimiento de Somosaguas: a) aspecto general de una muestra matriz-soportada; b) grano de cuarzo anguloso; c) grano de cuarzo redondeado; d) grano de cuarzo con golfos de corrosión; e) recubrimientos de arcillas alrededor de un grano detrítico; f) crecimiento de filosilicatos sobre bordes de un cristal de cuarzo; g) ejemplo de feldespato alterado a minerales de la arcilla generando una epimatriz; h) aspecto general de una muestra matriz-soportada con feldespatos fracturados en primer término; i) aspecto de una muestra clasto-soportada con recubrimientos de esmectitas sobre el conjunto de los granos. Las barras indican 5 mm en la imagen a; 0,1 mm para las imágenes b-g y 60 micras para las imágenes h-i.

Tramos	Muestras	Grados de alteración			
		1	2	3	4
T3	N-4.6	15	43	20	4
	N-4.5	12	40	25	6
	N-4.4	9	33	28	4
	N-4.3	7	30	30	5
	N-4.2	5	26	30	7
	N-4.1	5	29	32	6
	4-8	10	33	24	4
	4-7	8	29	25	7
	3-13	9	34	26	5
T2	4-5	6	20	24	9
	3-11	5	25	27	5
	3-9	6	25	27	5
	S-10	6	25	28	6
	S-8	6	26	29	5
T1	N-1	3	20	29	7
	4-1	3	17	26	8
	3-1	3	18	27	7
	S-1	3	16	26	7

Tabla 5.6- Numero de granos de plagioclasa contabilizados en cada muestra agrupados en los cuatro estadios de alteración definidos (transformación a filosilicatos). Grado 1 (0-25%) hace referencia a que la superficie del grano de plagioclasa en sección esta alterada en menos de un 25% y consecutivamente para los siguientes grados, 2 (25-50%), 3 (50-75%) y 4 (75-100%).

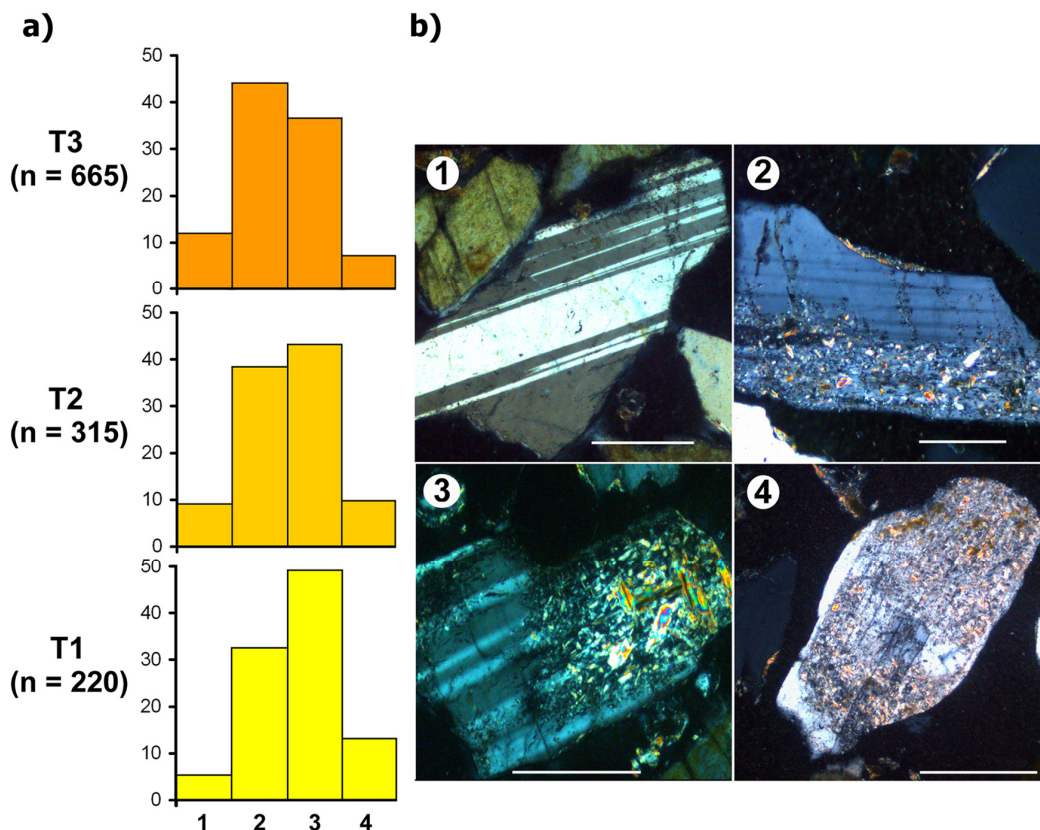


Figura 5.8- Grados de alteración de granos de plagioclasa: a) histogramas que representan la variación en el grado de alteración de las plagioclasas detectada en los tres tramos evaluados en el yacimiento de Somosaguas (T1, T2, T3); b) imágenes de microscopio óptico de cuatro granos de plagioclasa representativos de los cuatro grados de alteración. Los números en cada imagen indican el grado de alteración (la barra de escala mide 0,1 mm).

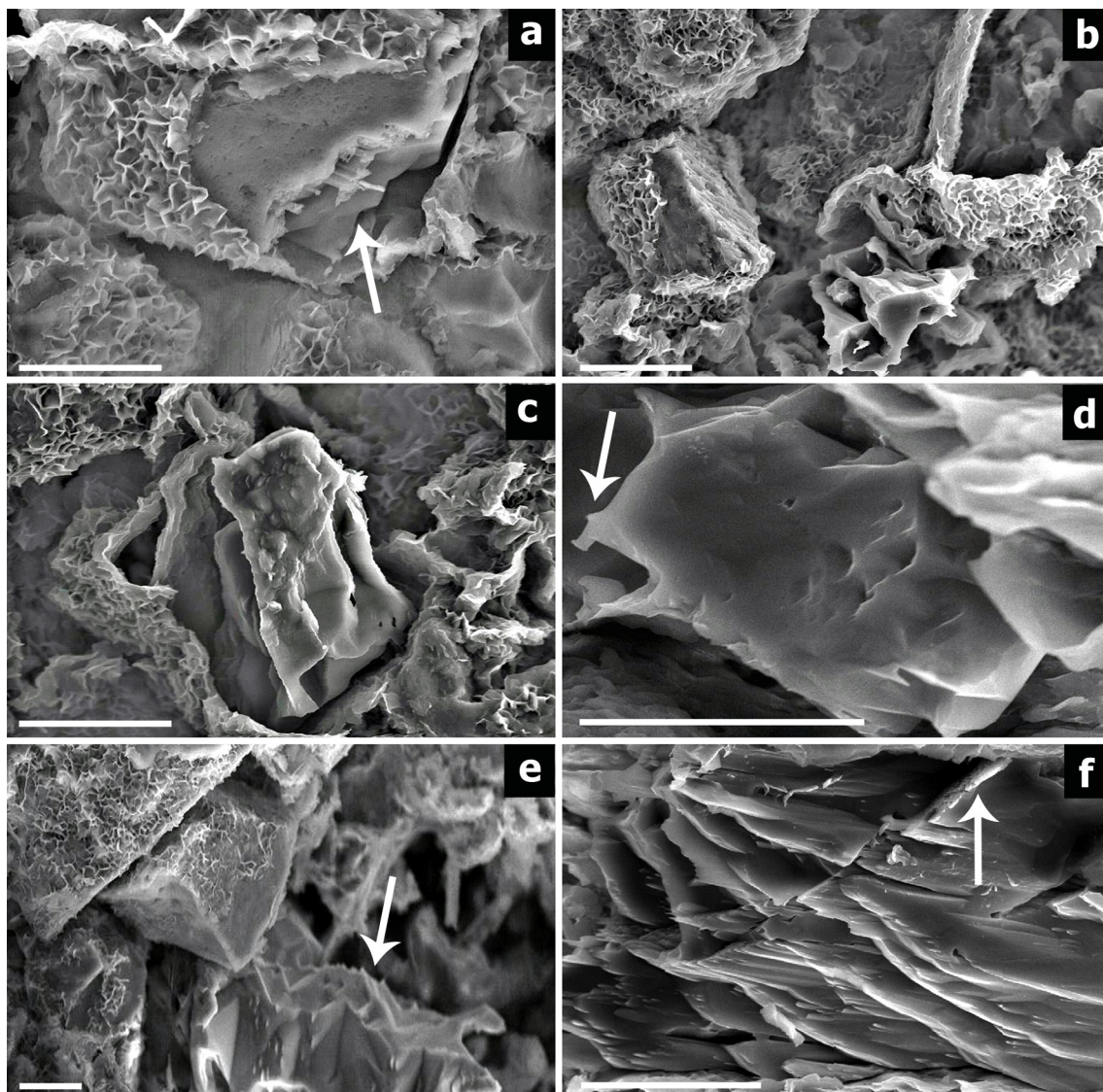


Figura 5.9- Imágenes de MEB de muestras del yacimiento de Somosaguas que muestran diferentes texturas superficiales de feldespatos: a-b) disoluciones de feldespatos (con crecimiento de esmectitas) favorecidas por los ejes de mayor debilidad (flecha) del cristal; c) disolución muy extrema dejando formas botroidales en la superficie del grano; d) *pits* de disolución en un grano de feldespato y bordes (flecha) del grano con formas puntiagudas; e) disolución y distorsión de un grano de feldespato que presenta *pits* e islas de disolución; f) fractura y disolución en un grano de feldespato (la flecha indica el crecimiento de cristales sobre la superficie de la fractura). Las barras indican 20 micras.

5.4.2- Sedimentos del Yacimiento de Húmera

El Anexo II recoge los datos obtenidos de las observaciones texturales realizadas en lámina delgada para los sedimentos de Húmera. De forma general se puede decir que la selección es mala (pobre) para los niveles de arenas y moderada para las de pelitas arenosas. La redondez, en la gran mayoría de los casos, toma valores intermedios de la clasificación de Powers (1953), con una proporción similar de granos subangulosos y subredondeados (Figura 5.10). Solo algunos niveles tienen granos mayoritariamente subangulosos o subredondeados. Siempre se observa una proporción de granos muy angulosos o muy redondeados, y aunque tampoco suelen superar el 10% de los granos analizados, los granos angulosos son más numerosos en los tramos de arenas que los observados en la mayoría de los niveles arenosos de Somosaguas.

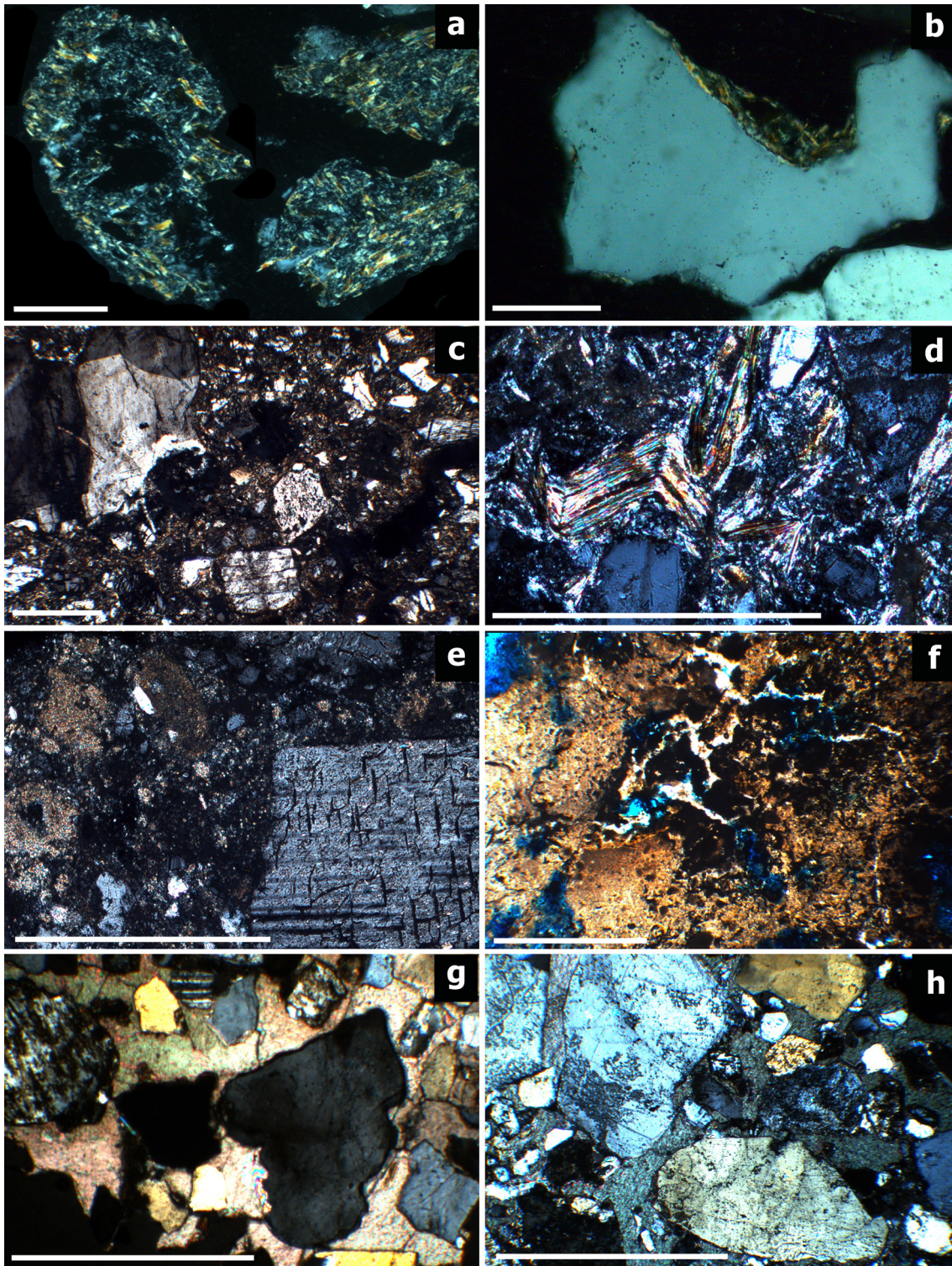


Figura 5.10- Imágenes de microscopio de luz transmitida de muestras del yacimiento de Húmera: a) ejemplo de granos de feldspatos alterados a minerales de la arcilla generando epimatrices, a veces en forma de “fantasmas” de granos; b) grano de cuarzo con golfos de corrosión; c) aspecto general de una muestra con mala selección y diferentes grados de redondez; d) partículas micáceas deformadas por la presión de los granos más duros; e) zonas con cementos filosilicáticos y otras con crecimiento de carbonatos micríticos; f) zona de contacto entre crecimientos de arcillas y carbonatos en el tramo H3; g) aspecto de los cementos poiquilotópicos; h) aspecto general de una muestra con cementación de calcita y granos de tamaños y redondez muy variables. Las barras de escala indican 0,2 mm para las imágenes a-b y 1 mm para las imágenes c-h.

En el yacimiento de Húmera, al igual que en el de Somosaguas, son comunes los cuarzos con golfos de corrosión (Figura 5.10b). En cuanto a la relación entre el esqueleto y la matriz se observa que predominan claramente las muestras clasto-soportadas, pero siempre presentan zonas que son matriz-soportadas, coincidiendo con zonas libres de cementos calcíticos que aparecen con textura poiquilotópica en todas las muestras de los tramos H1 y H2, con la excepción del nivel H2-1 (Figura 5.10g-h). En todas las muestras arenosas se ha observado que la mayor proporción de matriz es del tipo deposicional (protomatriz), sin embargo, al igual que en los sedimentos del yacimiento de Somosaguas y como se detallará en el capítulo 7, la existencia de recubrimientos de arcillas neoformadas (esmectitas) en la mayoría de las muestras genera matrices de tipo *clay coat*, *clay rim* y *pore filling*. La epimatriz (feldespatos totalmente reemplazados por minerales de la arcilla) está presente en muchas muestras aunque, en general, parece que en menor proporción que en las muestras de Somosaguas (Figura 5.10a). En los casos en los que está presente se diferencia por la presencia de un “grano” pseudomorfo del feldespato que está totalmente sustituido por cristales de illita y otros minerales de la arcilla creciendo según dos direcciones perpendiculares u oblicuas. Estas últimas son prácticamente inexistentes en las zonas que presentan cementación carbonática. Se observa que la cementación carbonática diferencial ocurre solo en los tramos más arenosos y por lo tanto más permeables, y hay una relación inversa entre proporción de cementación carbonática y presencia de matrices arcillosas. El caso del tramo H3 es más complejo ya que los carbonatos están presentes en forma de parches e intercrecimientos de carbonatos micríticos con minerales de la arcilla (Figuras 5.10e-f). Los contactos entre clastos existen en todas las muestras aunque son muy minoritarios en las muestras más arcillosas. En estas muestras prevalece la ausencia de contactos (contactos flotantes) y se observan localmente contactos puntuales (Figura 5.10c). En algunos casos los contactos entre los granos más duros y los granos de micas generan la deformación o adaptación de las micas (Figura 5.10d). En las muestras que son clasto-soportadas el contacto que predomina es el puntual, aunque están presentes los contactos largos. Al igual que se ha comentado para las muestras de Somosaguas hay una proporción siempre presente de cerca de un 5% de granos de cuarzo con golfos de corrosión. No se observan procesos de fragmentación de los granos ya que los pocos casos observados parecen haberse producido durante la preparación de las láminas delgadas. Finalmente hay que destacar que los granos de feldespatos observados con MEB de muestras del yacimiento de Húmera no presentan unos grados de disolución tan extremos como los observados en Somosaguas.

5.5- *Discusión y Conclusiones*

5.5.1- *Análisis de la Madurez Textural*

Como ya se ha comentado la madurez textural hace referencia a algunas características de un sedimento como su contenido en arcillas, el grado de redondez de sus clastos (principalmente del cuarzo) y la selección de tamaños de sus granos. Teniendo esto en cuenta y en base a la clasificación de Folk (1951; 1974) se puede decir que las muestras de Somosaguas presentan un grado de madurez intermedio entre inmaduro y submaduro. En general son inmaduras por la importante cantidad de matriz arcillosa que tienen y su mala selección. Sin embargo, el hecho de que la mayoría de las muestras presenten granos subredondeados y subangulosos muestra un cierto grado de madurez. Por otra parte, se observan muchas curvas clastométricas con distribuciones platicúrticas y mal seleccionadas lo que indica una clara inmadurez textural. Los casos

en los que las muestras están moderadamente seleccionadas y sus curvas clastométricas son leptocúrticas indicarían los grados de madurez más avanzados de la sucesión sedimentaria estudiada. Según Folk (1951) estas características estarían en relación con la distancia recorrida, por lo que a mayor distancia recorrida habría granos más redondeados, mejor seleccionados y con menos matriz arcillosa. Por lo tanto las muestras de arenas micáceas (principalmente T2 y T6) indicarían los sedimentos más distales de la secuencia estratigráfica. Sin embargo, incluso en estas muestras que presentan mejor selección de tamaños y en general mejor redondez, hay mucha cantidad de matriz arcillosa, lo que podría indicar la existencia de procesos de “infiltración” de matriz. Este hecho toma más relevancia al observar los datos de las clastometrías que indican que muchas de las muestras son bimodales o incluso polimodales. De hecho, en general, cuando los contactos que prevalecen son los contactos puntuales y largos se debería observar una buena porosidad en las muestras y sin embargo, en general, los poros están rellenos de granos de menor tamaño y arcillas. Por lo tanto, la mayoría de los poros existentes (escasos) no están interconectados y generan una permeabilidad relativamente baja en la mayoría de las muestras, al menos en todas aquellas que tienen gran cantidad de arcillas y mala selección de tamaños. Uno de los hechos que apoya la inferencia de procesos de infiltración es la constatación de que de forma general las muestras obtenidas en el área fuente por Palomares *et al.* (1990) estaban mejor seleccionadas y presentaban medias de tamaños de grano más gruesos. Aunque es normal que la media de los tamaños disminuya con el transporte no lo es el hecho de que empeore la selección. Esto se debe a que aumenta la fracción más fina pero aún no hay un recorrido tan grande como para que los fragmentos más gruesos disminuyan mucho de tamaño, generando un rango de tamaños más amplio. Por otra parte es bastante probable que los “cementos filosilicáticos” se empezasen a formar en zonas geomorfológicamente más elevadas y que durante los siguientes procesos de transporte protegiesen a los granos de mayor tamaño de ser fracturados.

No parece que haya una diferencia importante en la madurez textural de los sedimentos de los dos yacimientos evaluados y tampoco se observan tendencias claras a lo largo de las sucesiones sedimentarias indicativas de una disminución o un aumento del grado de madurez textural de las muestras. Sin embargo el grado de alteración de feldespatos potásicos y plagioclasas sí muestra una tendencia en la que en la parte alta del yacimiento de Somosaguas los granos de feldespatos están mejor preservados, lo que podría indicar una peor madurez mineralógica y por lo tanto condiciones climáticas menos húmedas en las que las precipitaciones fuesen más ocasionales y la alteración de los feldespatos por hidrólisis menor.

En cuanto a la clasificación de las muestras en los diagramas texturales se puede observar que están en el tercio inferior del diagrama triangular de Blair y McPherson (1999) por lo que son diversas variantes de arenas arcillosas y lodos arenosos, con más o menos grava (nunca superior al 20%). Se observa que de forma general los niveles de Húmera son algo más arenosos y gruesos que los niveles de Somosaguas.

Como conclusión se puede decir que los sedimentos de los yacimientos de Somosaguas y Húmera tienen una madurez textural baja, clasificándose como inmaduras o submaduras, sin una clara tendencia de la madurez textural a lo largo de la secuencia estudiada, mientras que parece que sí hay una tendencia al aumento de la inmadurez mineralógica según se asciende en los tramos de los afloramientos de Somosaguas, posiblemente debido a una menor alteración química como consecuencia

de un clima más árido. Es muy probable que se hayan registrado procesos de infiltración mecánica y bioinfiltración de arcillas en los sedimentos estudiados. Las muestras de ambos yacimientos se clasifican en el rango de arenas arcillosas y lodos arenosos con cantidades variables de gravas (0 a 17%).

5.5.2- Inferencia de la Procedencia

Los estudios de Palomares *et al.* (1990) indicaron que las variaciones de algunos valores estadísticos de las distribuciones clastométricas en el Sistema Central estaban directamente relacionados con la litología del área fuente y dedujeron determinados campos para los cuales la procedencia sería granítica, gnéisica o de metamorfismo de bajo grado (esquistos y pizarras). La Figura 5.11 muestra la distribución de las muestras analizadas en los yacimientos de Somosaguas y Húmera sobre el diagrama binario que enfrenta los valores medios en ϕ con los valores de la selección en ϕ . Se puede observar que no entran en ninguno de los campos las muestras estudiadas aunque una tendencia similar fue obtenida en los estudios de materiales cuaternarios del Manzanares por Silva *et al.* (1999). Se puede observar que las muestras estudiadas tienen una selección similar o mejor a las de fuentes graníticas y gnéisicas y unos valores de la media siempre más finos que los obtenidos en dichos estudios en el área fuente. Ambos datos son bastante congruentes con el proceso natural de maduración de los sedimentos durante su transporte desde el área fuente hasta la zona de estudio, ya que mejora la selección de tamaños y disminuye el tamaño de los granos. Observando la posición que ocupan las muestras estudiadas parece claro que su procedencia estaría relacionada con un área fuente mixta formada principalmente por materiales graníticos y gnéisicos y en mucha menor medida por materiales metamórficos de bajo grado. En cuanto a las variaciones de la asimetría no parecen guardar relación ni con el mecanismo de transporte ni con la litología del área fuente pudiéndose obtener valores positivos o negativos en muestras de una misma zona, como ocurre en las muestras seleccionadas para el presente trabajo.

La observación en la práctica totalidad de los niveles analizados de cuarzos con golfos de corrosión (Crook, 1968; Cleary y Conolly, 1972; Le Pera *et al.*, 2001) es indicativa de procesos de formación de suelos con cierta cubierta vegetal que alteran los granos de cuarzo y como ya se ha comentado disuelven parcialmente los granos de feldespatos. Estos suelos se han podido formar desde las cercanías del área fuente hasta el mismo área de estudio, ya que los grados de disolución o de corrosión de los granos detríticos son variables en cada muestra, por lo que los sedimentos actuales reflejan una historia compleja con sucesivas etapas de transporte, sedimentación y cierta estabilidad, con formación de suelos incipientes, seguidos de erosión, retrabajamiento y un nuevo proceso de transporte de los sedimentos.

De lo expuesto podemos concluir que los valores estadísticos de las curvas clastométricas del área de estudio parecen indicar una procedencia principalmente plutónica y metamórfica de alto grado, aunque no es descartable una aportación de áreas fuentes metamórficas de bajo grado. No obstante, la posición de los valores de las muestras estudiadas, con medias y selección inferiores a los descritos por Palomares *et al.* (1990) en depósitos de cabecera de arroyos, sugiere energías de transporte inferiores a los comentados por estos autores. Además el proceso no ha tenido lugar en un único ciclo sino que han sido afectados por sucesivos procesos de erosión, transporte, sedimentación, formación de suelos y retrabajamiento.

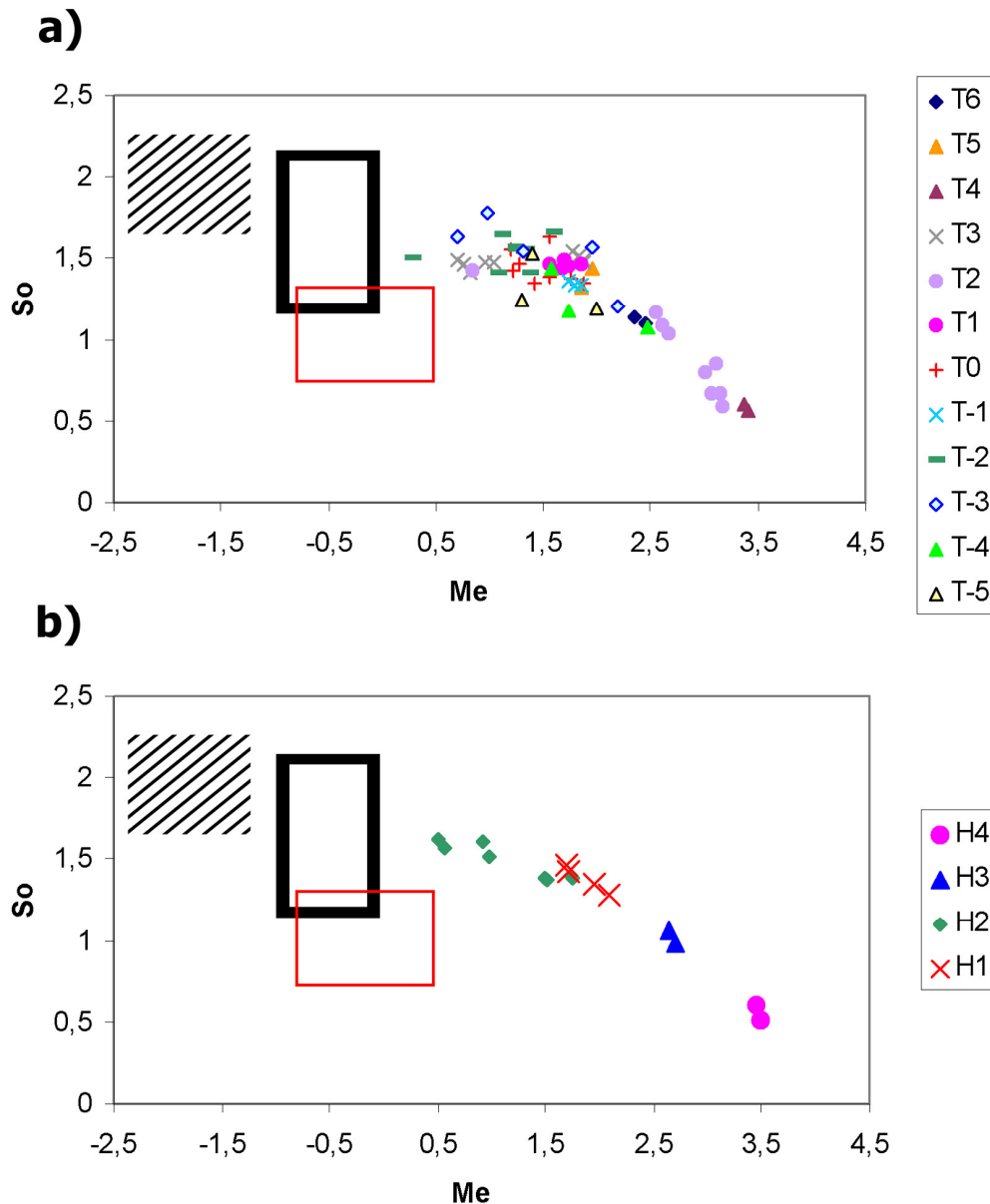


Figura 5.11- Diagramas binarios Media (Me) – Selección (So) de los yacimientos de Somosaguas (a) y Húmera (b) para valores en la escala *phi*. Las leyendas indican los diferentes tramos de cada yacimiento. El campo rallado pertenece a procedencia esquistoso-pizarrosa, el recuadro negro la procedencia gnéissica y el recuadro rojo la procedencia granítica según los campos definidos para el Sistema Central por Palomares *et al.* (1990).

5.5.3- Inferencia de los Mecanismos de Transporte

En cuanto a los mecanismos de transporte, como ya se ha comentado, el número de segmentos y los valores a los que se producen los puntos de truncación definen los principales mecanismos que han intervenido en el transporte de los sedimentos estudiados (Visher, 1969). Las tres principales poblaciones que se pueden separar son las transportadas por el mecanismo de suspensión, saltación o tracción (Visher, 1969; Middleton, 1976; Friedman y Sanders, 1978; Friedman, 1979; Viard y Breyer, 1979; Eschner y Kircher, 1984; Palomares *et al.*, 1990, entre otros). Como ya se ha comentado en las muestras de los yacimientos estudiados se han observado principalmente 4

morfologías de curvas sobre escala probabilística (Figura 5.4). Observando las curvas parece que de forma general los sedimentos han sido transportados en una proporción importante por un mecanismo de saltación. Sin embargo, en casi todas las muestras están presentes otros segmentos que permiten inferir mecanismos de tracción y en menor medida suspensión, aunque este último dato está influenciado por el hecho de que no se haya valorado la fracción menor de 0,062 mm.

Por lo tanto en las curvas clastométricas que solo presentan un segmento el sedimento se ha desplazado en un modo determinado (principalmente saltación), aunque no se puede descartar la existencia de una población que viajase por suspensión. Este tipo de distribuciones se han obtenido en muestras variadas y por lo tanto no es totalmente definitorio de un tramo o litología concreta, aunque sí aparecen de forma repetitiva en muchas muestras de arenas micáceas.

Las distribuciones con un punto de truncación pueden presentar una población de saltación muy bien definida (segmento más verticalizado) y en algunos casos podría haber una población de rólido (truncaciones en valores bajos de ϕ , Figura 5.4). En estos casos, se observa que el segmento inferior está peor seleccionado y pertenecería a la subpoblación de rólido, sin embargo están, en general, mejor seleccionadas de lo que cabría esperar para unos sedimentos relativamente inmaduros. Visher (1969) indicó que esta población es la más dependiente de las características del área de procedencia. Por lo tanto este hecho se podría deber a la influencia que ejerce la propia litología del área fuente, principalmente granítica. Este tipo de rocas plutónicas suelen generar granos minerales con tamaños comprendidos en un rango relativamente reducido, y por lo tanto tampoco se observará en ellos una selección excesivamente mala una vez que sean transportados y depositados, al contrario de lo que ocurre en sedimentos formados a partir de áreas fuente metamórficas (Palomares, 1988; Tortosa, 1988; Palomares *et al.*, 1990). Otro tipo de distribuciones, con un único punto de truncación, presentan la recta de la subpoblación de saltación y otro segmento probablemente debido a otra población de saltación (truncaciones en valores altos de ϕ) o a una población de suspensión (el valor de la truncación se produce para granos muy finos) o a una mezcla de ambos. En todo caso, estas distribuciones están afectadas por la falta de datos de las fracciones más finas, cuya valoración podría dar lugar a curvas sin puntos de truncación como el primer tipo descrito o a curvas con una truncación que separe claramente una población de saltación de otra de suspensión peor seleccionada. De hecho este tipo de curvas están asociadas principalmente a las arenas micáceas que también presentan la forma de curva de un único segmento, por lo que podrían definir subambientes (de diferente energía) dentro de un mismo ambiente o ser fases transicionales hacia un único segmento. En el caso de que reflejasen diferencias de energía, se puede observar que en los niveles inferiores del tramo T2 las muestras suelen presentar curvas con dos segmentos mientras que hacia techo pasan a curvas con un único segmento. Este hecho indicaría un aumento de la capacidad de transporte del medio, lo que está de acuerdo con las observaciones de Cuevas-González (2005a) que señalaba que el paso de *ripples* trepadores en los niveles basales de este tramo a laminación paralela hacia techo sería indicativo de variación de la energía, la velocidad o la profundidad del cuerpo de agua (supuestamente representado por los niveles arcillosos de este tramo T2).

Finalmente, el cuarto tipo de curva que se ha observado con dos puntos de truncación presenta ciertas particularidades como la existencia de dos segmentos de similar pendiente separadas por un segmento de mucha menor pendiente, lo que se aleja de lo

esperado para distribuciones con tres segmentos que suelen tomar forma de “S” con un segmento intermedio mejor seleccionado. En estos casos interpretamos las dos rectas más verticalizadas como poblaciones transportadas por saltación y la peor seleccionada transportada como rólido. Sin embargo hay que tener en cuenta posibles errores en la toma de muestras, ya que los sedimentos estudiados en algunos niveles no presentan diferencias fácilmente detectables a simple vista, pero sí se han observado diferencias internas en los estudios petrográficos (ver por ejemplo el caso de los niveles internos del tramo T3, siguiente capítulo), por lo que al tomar una muestra que comprende unos cuantos centímetros de un determinado nivel se podrían estar recogiendo y mezclando dos procesos sucesivos con un mínimo aumento o disminución de la energía que diese lugar a dos o más subpoblaciones transportadas por saltación y mezcladas con una carga de fondo, transportada como rólido. Visser (1969) indica que en determinados ambientes, como aquellos que tienen condiciones energéticas muy variables, se produce una mezcla entre las poblaciones de saltación y suspensión, reflejando unas condiciones intermedias en las que el segmento de saltación puede estar peor seleccionado de lo esperado. Esto puede estar en consonancia con los ambientes descritos previamente para este área, ya que un clima semiárido con lluvias esporádicas pero en ocasiones torrenciales daría lugar a unas condiciones energéticas variables. En general las pendientes bastante tendidas de las poblaciones indicarían procesos de flujos energéticos que se han transportado de forma masiva y con una moderada-alta tasa de sedimentación (Visser, 1969), lo que concuerda bastante bien con un ambiente relacionado con las orlas de abanicos aluviales con procesos de tipo *mud* o *grain flow*.

Los puntos de truncación aparecen también en intervalos ligeramente diferentes, así para la truncación de los finos los valores más bajos en escala *phi* aparecen en los tramos inferiores de Somosaguas, los intermedios en los tramos de Húmera y los más altos (más finos) en los tramos superiores de Somosaguas. Mientras que las truncaciones de gruesos tienen una variación menos definida y solo de una forma muy general parece que sus valores aumentan hacia techo de la sucesión de Somosaguas. Por lo tanto se podría inferir que hay una población de saltación que puede estar presente entre valores muy gruesos (truncación a -0,75) y valores finos (truncación a 2,44), y otras dos poblaciones que pueden estar o no presentes y que sus proporciones varían mucho con la litología de cada nivel. Estos puntos de truncación y la presencia de una población importante de saltación y suspensión, a veces acompañada por la tracción, apoya la asignación a procesos de flujos en masa de alta viscosidad con mucha carga de finos tipo *mud flow*, o los más gruesos tipo *grain flow*. Finalmente, aparecen una serie de truncaciones en valores intermedios a los de los intervalos definidos, más complicados de interpretar, pero según Palomares *et al.* (1990) no serían truncaciones que separen poblaciones transportadas por diferentes mecanismos sino que representarían condiciones hidráulicas diferentes de un mismo mecanismo de transporte (Visser, 1969; Middleton, 1976).

El tamaño máximo transportado en suspensión es en general mayor al definido para transporte fluvial y semejante al definido para corrientes de turbidez o *levees* naturales, según cada nivel estratigráfico considerado. El hecho de que en algunos casos granos de más de 4mm se hayan transportado por saltación apoya la gran energía y viscosidad del fluido generador de estos depósitos.

En cuanto a las diferencias observables entre ambos yacimientos hay una mayor dispersión de morfologías y número de segmentos en los sedimentos de Somosaguas

que en los de Húmera. Esto podría deberse simplemente a un factor estadístico ya que el número de muestras del yacimiento de Húmera es menor que el de los sedimentos de Somosaguas, sin embargo, en litologías muy parecidas como las arenas más gruesas o las arenas micáceas hay más variabilidad en Somosaguas que en Húmera.

En conclusión se puede decir que según los tipos de curvas clastométricas obtenidas, para los sedimentos de los yacimientos estudiados, los mecanismos de transporte han sido variados pero siempre dominados por las poblaciones de saltación y suspensión, que en ocasiones aparecen algo mezcladas y en otras ocasiones presentan una población de rólido, coincidente con los niveles de litologías de arenas más gruesas. Las morfologías y el número de segmentos obtenidos para las curvas clastométricas estarían acordes con procesos diversos que gradarían entre el transporte tractivo en flujos relativamente poco viscosos y el transporte en masas viscosas y energéticas que se producirían de forma rápida y con moderadas tasas de sedimentación tipo *mud* o *grain flow*. Es posible que la tendencia observada en los niveles arenosos del tramo T2 de Somosaguas refleje una tendencia hacia climas más áridos con una menor altura de la lámina de agua de los posibles encharcamientos localizados en el área de estudio.

5.5.4- Inferencia Paleoambiental y de los Medios Sedimentarios

Como ya se ha comentado, muchos autores han relacionado la morfología de las curvas clastométricas, la posición de los puntos de truncación o las pendientes de cada segmento con determinados ambientes sedimentarios. Comparando las distribuciones clastométricas obtenidas en nuestro estudio con las obtenidas por Palomares *et al.* (1990) en las cabeceras de los arroyos del Sistema Central, se observa que las morfologías “a” y “b” (Figura 5.4) son comunes a las obtenidas para ambientes graníticos y aún siendo menos común también hay casos similares a la morfología “c”. Sin embargo la morfología “d” no aparece representada en ninguna de las muestras estudiadas por estos autores. Estos autores indican que los casos en los que se observan dos o más segmentos (rectas) paralelos no hay poblaciones diferenciadas sino que lo asocian a variaciones de las condiciones hidráulicas dentro del mismo mecanismo de transporte. En los estudios de Visser (1969) de las morfologías de las curvas clastométricas sobre escala probabilística se muestran curvas similares a las de la morfología “d” obtenidas en este trabajo y se asocian a ambientes de deltas intermedios entre zonas de predominio de olas y zonas mareales. Aunque comentan que son poco conocidos los mecanismos que forman estas distribuciones, reconocen una población de saltación, única en su comportamiento respecto a otros ambientes, en la que el segmento central está pobremente seleccionado (baja pendiente) y el segmento correspondiente a los más gruesos está mejor seleccionado y toma un rango amplio de valores. El segmento que comprende los materiales más finos se asocia a saltación debida a la acción de las olas. La población intermedia la asocian a transporte turbulento gradado de suspensión-tracción. Finalmente, la población más gruesa estaría relacionada con transporte de fondo (*bedload*) por corrientes energéticas resultantes de la interacción de corrientes de fondo y olas en zonas de canales mareales (*tidal channel*). Obviamente las muestras analizadas en el presente trabajo que presentan este tipo de distribuciones no se asocian a zonas deltaicas en el sentido de grandes deltas interaccionando con zonas costeras bajo la acción del oleaje marino, ya que además deberían estar mucho mejor seleccionadas, pero es posible que en el ambiente continental, y teniendo en cuenta todas sus particularidades, se puedan formar zonas similares en las que interaccionen flujos turbulentos y viscosos con canales o encharcamientos lacustres que puedan

generar este tipo de morfologías. Visser (1969) indica que morfologías similares a estas con las dos poblaciones mejor seleccionadas y la intermedia muy pobremente seleccionada se han descrito en depósitos antiguos y que no parecen tener sus equivalentes actuales, por lo que podrían estar afectados por procesos post-sedimentarios. Santos García (1987) ha obtenido morfologías similares en materiales terciarios de la cuenca del Júcar que relaciona con el entorno del ambiente fluvial. Según Visser (1969) morfologías similares a la “a” y “c” (esta última con un segmento para materiales más finos que en nuestro estudio no se ha analizado) se asocian a *levees* naturales que formarían la morfología “c” (Figura 5.4) en zonas de cresta, en depósitos de *crevasse* o aguas muy poco profundas adyacentes a los *levees*, y la morfología “a” cuando se relacionasen con *levees* subacuáticos. En cambio las morfologías tipo “b” las relaciona con ambientes canalizados de energía más continuada en el tiempo. Este mismo autor obtiene morfologías similares al “a” y “b” en ambientes de corrientes de turbidez, indicando que el segmento que representa los granos más finos puede tomar diferentes pendientes en función de la altura respecto a la base de la corriente a la que se tome la muestra, estando más horizontalizado cuanto más cerca de la base se tome la muestra, y siendo un único segmento en la base o en algunos casos en el techo del nivel.

Dado que las morfologías de las curvas clastométricas pueden indicar varios subambientes y diferentes procesos es interesante analizar los valores de los puntos de truncación. Los valores de puntos de truncación indicados en las Tablas 5.2 y 5.4, al ser comparados con los límites expresados en el trabajo de Visser (1969) muestran que las curvas tipo “b” con puntos de truncación en valores de -0,38 a 0,64 podrían representar, teniendo en cuenta su, en general, baja selección, medios de corrientes de turbidez, en los que la población gruesa se transportase por tracción y la siguiente por suspensión, sin embargo, la mejor selección del primer segmento genera dudas a este respecto y podría explicarse por una mezcla de las poblaciones de saltación y suspensión, que según estos autores es muy grande y puede empeorar la selección (menores pendientes del segundo segmento). Las truncaciones a valores más altos de ϕ (1,38 a 2,40) en las curvas del tipo “c” y la pendiente más verticalizada (mejor seleccionada) del primer segmento serían más acordes con ambientes de tipo *levee* natural (Visser, 1969). Finalmente en las curvas con dos puntos de truncación (tipo “d”), los valores de éstos (-0,52 y 0,68 ϕ para gruesos y entre 2,05 y 2,45 ϕ para los finos) y la selección de las diferentes subpoblaciones no se asemejan a ninguno de los ambientes definidos para medios sedimentarios actuales. Estos autores indican que este tipo de curvas, al parecer, sin equivalentes actuales podrían estar afectadas por procesos post-sedimentarios como retrabajamiento y mezcla o bioinfiltración y *burrowing*. Según Middleton (1976) las variaciones en la posición de los puntos de truncación en muestras que presentan morfologías de las curvas clastométricas similares se deben principalmente a variaciones en las condiciones hidrodinámicas dentro de un mismo medio de transporte, y éste parece ser el caso de las muestras estudiadas, ya que las situaciones difíciles de definir para el trazado de los segmentos indican casos intermedios entre los cuatro presentados y éstos serían posiblemente debidos a variaciones hidrodinámicas de los medios definidos para cada una de las cuatro posibilidades.

Los tres tramos aflorantes en el área de las excavaciones de Somosaguas (T1, T2 y T3) han sido las mejor caracterizadas por los estudios previos y como ya se ha comentado en los antecedentes presentan una serie de características que han quedado poco claras. Los datos obtenidos en este capítulo permiten observar que los niveles inferiores de T2 son más arcillosos mientras que hacia techo va aumentando el

contenido en arena (Tabla 5.3), por lo que o el medio era más energético o gran parte de las fracciones finas de los niveles inferiores deben ser infiltradas en la etapa post-deposicional. Esta última posibilidad no parece ser la causa ya que los niveles de T2 muestran curvas clastométricas unimodales, aunque siempre tiene que haber habido cierta proporción de matriz arcillosa neoformada. En cuanto a los seis niveles del tramo T3 presentan claras diferencias en todos los parámetros estadísticos calculados, así como en la posición de los puntos de truncación que se presentan con valores *phi* cada vez más bajos al ascender en el tramo. Este hecho estaría indicando un aumento de la competencia del medio de transporte según se asciende en el tramo y al parecer no sería coherente con un aumento de la aridez indicada por estudios previos (Domingo *et al.*, 2009 y citas interiores), aunque las condiciones de aridez, si van acompañadas de lluvias estacionales torrenciales, podrían ser la explicación que justifique que cada vez sean más energéticas y tengan un mayor efecto sobre los sedimentos y los suelos, dado que la cubierta vegetal será cada vez menor y tendrá menor capacidad de retención del suelo. En cuanto al yacimiento de Húmera, la presencia de intercrecimientos de carbonatos micríticos con arcillas, en el tramo H3, sería indicativo de desarrollo de niveles edáficos incipientes, tal vez asociados a los niveles carbonatados más extensos y con cierta potencia (¿calcretas?) que separan este tramo del tramo H4, por procesos de variación de la altura de la lámina de agua subterránea y por lo tanto variaciones en las condiciones vadosas o freáticas, que indujesen la formación de estos carbonatos y que, como se verá en el capítulo 7, pueden haber sido factores importantes en las variaciones composicionales de algunas fases minerales.

Muchos autores han propuesto campos para definir ambientes sedimentarios a partir de diagramas binarios que enfrentan diversos valores estadísticos de las distribuciones clastométricas (Friedman, 1967; Folk y Ward, 1957; Passega, 1957 y 1964; Harris, 1959; Bull, 1962; Amaral y Pryor, 1977; Spalletti, 1980, entre otros). De entre todos ellos hemos representado nuestros datos (Figura 5.12) sobre el diagrama de Spalletti (1980), que define campos para ambientes continentales y de transición, observando que tanto las muestras de Húmera como las de Somosaguas siguen una distribución que abarca para las muestras más gruesas y peor seleccionadas el campo de los abanicos aluviales, mientras que para las muestras más arcillosas o las arenas mejor seleccionadas (principalmente las muestras de arenas micáceas) se representan en los campos relacionados con los subambientes fluviales. De hecho el comportamiento de estos niveles de arenas micáceas llega a ser similar al de zonas eólicas en el caso de algunas muestras como las de los tramos H4 (Húmera) o T2 y T4 (Somosaguas). Es interesante ver que dentro del campo de abanico aluvial las muestras quedan representadas en las zonas más cercanas al límite de mejor selección, lo que estaría indicando la mayor distancia al área fuente y zonas distales en los abanicos aluviales del área de estudio.

El estudio de Torres *et al.* (1995) analiza la distribución a diferentes cotas de las relaciones “arena”/“arcilla” en las unidades detríticas del Oeste de Madrid, concluyendo que hay variaciones debidas al movimiento de dos cuerpos “arenosos” asociados a abanicos que se superponen a una zona lutítica denominada “Pasillo lutítico de Majadahonda”. Para las cotas a las que se encuentran los materiales de Somosaguas y Húmera estudios previos en este área han propuesto que los yacimientos estarían en este pasillo lutítico y que los abanicos aluviales generarían algo así como un cierre (zona de coalescencia) que originaría una zona con nivel de base local más elevada respecto al interior de la cuenca. Las muestras analizadas en nuestro trabajo muestran que las

relaciones “arena”/“arcilla”, considerando como arenosos los tramos con arena y grava y nula o baja matriz arcillosa, y como arcillosos los tramos totalmente pelíticos o las litologías mixtas arena-pelita o pelita-arena, son claramente asociables a los tramos “arcilla” (Tablas 5.3 y 5.5, y Figura 5.5). Estos autores asocian estas litologías a procesos de tipo *mud flow* o *debris flow* en zonas cercanas al área fuente (fluidos densos de comportamiento no newtoniano) y a depósitos de pie de abanico en llanura arenosa mixta y/o llanura fangosa en zonas más distales, que sería el caso de los yacimientos de Somosaguas y Húmera. Estos autores indican que entre los 600 y 700 m de cota hay una retracción de los abanicos aluviales y se ve desarrollado el pasillo lutítico de Majadahonda, aunque hay incursiones del abanico de Colmenar hacia el interior de la cuenca. Esta descripción concuerda con los datos obtenidos en este estudio y como ya se ha comentado con los datos de estudios previos en estos yacimientos.

Finalmente, comparando las morfologías de las curvas clastométricas y la variabilidad interna de los niveles de “arenas micáceas” del presente estudio con aquellas definidas por Lomoschitz *et al.* (1985) en áreas de transición al centro de la cuenca de Madrid, en primer lugar se observa que las de centro de cuenca casi siempre están compuestas por tres segmentos, mientras que las de nuestra zona de estudio tienen dos o incluso un único segmento. Además los valores para los cuales se producen las truncaciones son en nuestro caso intermedios entre 1,83 y 2,40 *phi* que coincidiría con una zona intermedia entre las truncaciones de finos y gruesos definidas por estos autores (0,5 a 2 *phi* para gruesos y 2 a 3 *phi* para finos). Por otra parte, obtienen medianas de aproximadamente 2,74 *phi*, medias de 2,90 *phi* y desviaciones estándar de 0,90 *phi*, que son coincidentes con los valores más altos de los rangos que hemos obtenido en nuestro trabajo para las arenas micáceas, teniendo en cuenta que en nuestros datos estos valores presentan rangos amplios de variación.

Lomoschitz *et al.* (1985) interpretan dichos resultados clastométricos como debidos a transporte en un fluido de baja viscosidad y estado de flujo bajo, en el que dominarían la saltación y suspensión gradada sobre el rólido y la suspensión uniforme. Esta interpretación es bastante acorde con lo que podríamos definir para las muestras de arenas micáceas del área de estudio con la salvedad de que seguramente se obtienen depósitos más inmaduros en los depósitos analizados. Interpretan estas secuencias como *sheet floods* arenosos que se extendían sobre áreas fangosas con escasa lámina de agua o episódicamente expuestas (Lomoschitz *et al.*, 1985) en zonas con un área fuente mixta entre materiales plutónicos y metamórficos de grado bajo. Litologías similares en zonas más al Sur están más influenciadas por el carácter arcósico de los materiales y su procedencia mayoritariamente granítico-gnéisica, siendo interpretadas como secuencias deltaicas de escaso desarrollo cuando llegan a zonas con charcas efímeras (*ponds*) o facies lacustres someras pero más perennes (Lomoschitz *et al.*, 1985). Teniendo en cuenta el área fuente deducido en nuestro estudio, así como la secuencia estratigráfica que nos encontramos en los yacimientos de Somosaguas y Húmera serían más coherentes con esta segunda interpretación. Por último estos autores consideran que en ambos casos este tipo de depósitos serían los derivados distales de las facies arenosas más gruesas con las que están asociadas en las secuencias estratigráficas estudiadas. Esto es congruente con el aumento de la proporción de micas que se observa en estos niveles y las diferencias encontradas en las distribuciones clastométricas seguramente están influenciadas por esta elevada proporción de micas con un comportamiento hidrodinámico diferente al resto de minerales que aparecen en estas litologías (Tourtelot, 1968; Komar y Reymers, 1978; Doyle *et al.*, 1983, entre otros)

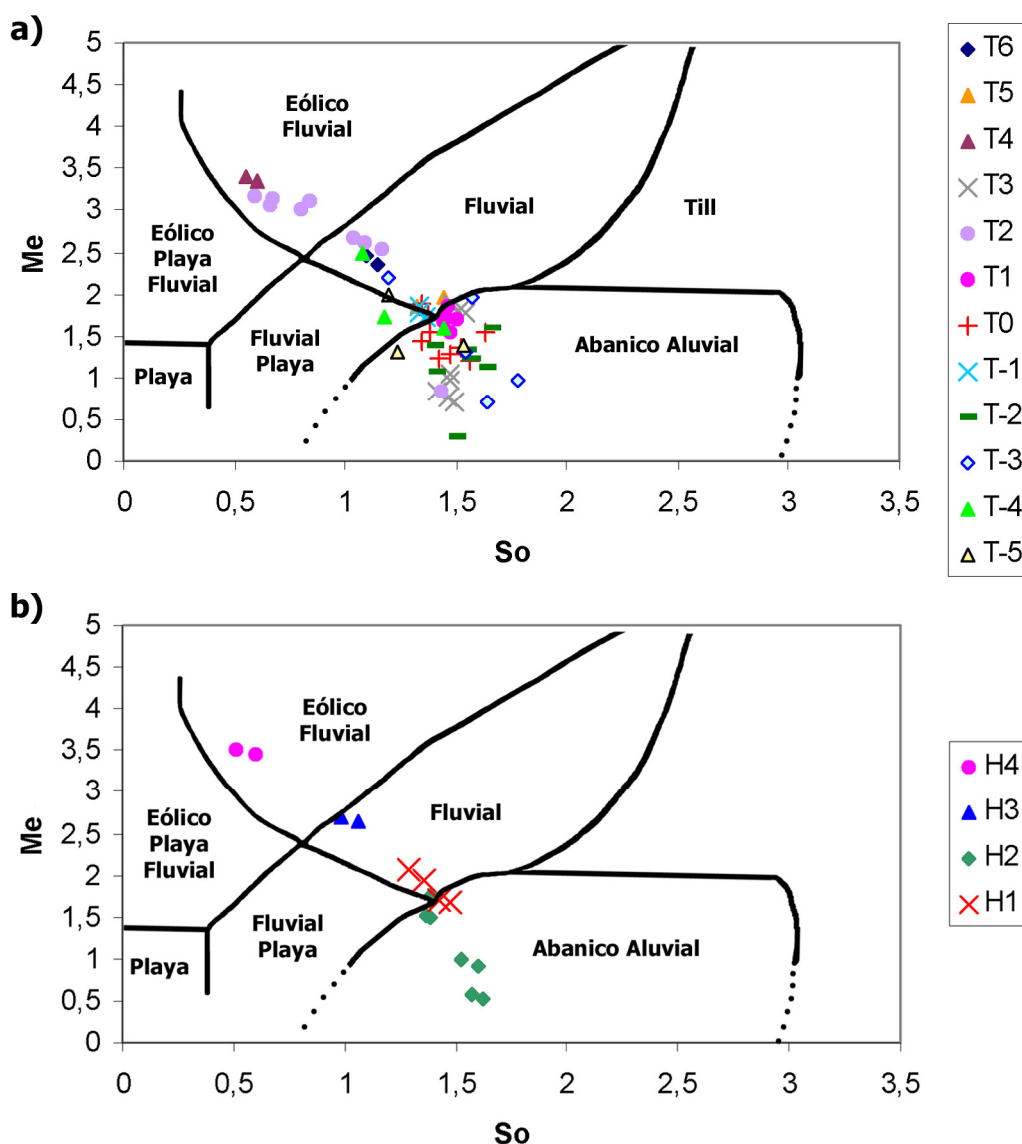


Figura 5.12- Campos relativos a ambientes sedimentarios continentales y de transición representados en un diagrama binario de Selección (So) – Media (Me) propuesto por Spalletti (1980) con la representación de las muestras de los yacimientos de Somosaguas (a) y Húmera (b) para valores en la escala *phi*. Las leyendas indican los diferentes tramos de cada yacimiento.

De lo expuesto en este apartado se puede concluir que la secuencia estudiada es típica de un ambiente intermedio entre zonas distales de abanicos aluviales y zonas de llanuras arenosas o fangosas de interior de la cuenca sedimentaria. Este paisaje general tendría multitud de subambientes con formación de zonas encharcadas posiblemente con procesos de desecación ocasionales debidos a la baja altura de la lámina de agua, y la llegada esporádica de sedimentos en flujos laminares que generarían pequeños “deltas” en su intersección con estas zonas encharcadas, lo que coincide con las interpretaciones de Díez-Canseco *et al.* (2012) de las arenas micáceas de Somosaguas. También se podrían registrar *levees* naturales en ambientes intermedios. Han existido procesos de infiltración de materiales arcillosos a lo largo del transporte y depósito de estos sedimentos hasta llegar a su posición en el área de estudio y son claros los procesos posteriores de bioinfiltración que se observan incluso en la actividad de la fauna actual (Martín-Perea y Fesharaki, 2015). El interesante tramo T2 con la presencia de las arenas micáceas parece mostrar una variación de las condiciones ambientales

hacia una mayor aridez al ascender en el tramo, algo que podría también intuirse para el tramo T3. En todo caso queda claro que los niveles internos evaluados en T3 pertenecen a diferentes procesos deposicionales y por lo tanto es lógica la diferente concentración de fósiles que albergan. Finalmente se destaca la especificidad de las litologías de arenas micáceas tanto por su comportamiento granulométrico como por aparecer en áreas algo menos distales que las definidas en estudios previos. La relación “arena”/“arcilla” (Torres *et al.*, 1995) entra en el rango de materiales arcillosos o mixtos para las muestras de los yacimientos de Somosaguas y Húmera y por lo tanto se corrobora la asignación de esta área al denominado “Pasillo lutítico de Majadahonda” durante su depósito.

5.5.5- Inferencia de las Características Diagenéticas

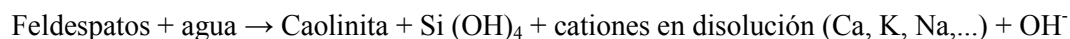
Estudios previos relacionados con la señal isotópica de restos fósiles y los minerales de la arcilla en el área de los yacimientos de Somosaguas han inferido un grado de diagénesis muy bajo (Fesharaki, 2005; Domingo *et al.*, 2012b). En el estudio textural de las muestras de este yacimiento se observa que, en general, están mal seleccionadas presentando una tipología principal de matriz que es deposicional, además los contactos entre los granos son en general inexistentes o puntuales. Todas las características anteriores apuntan a que la génesis de los sedimentos estudiados no puede relacionarse con procesos diagenéticos. Sin embargo, la observación de epimatrices y recubrimientos de arcillas neoformadas indican una diagénesis incipiente, con indicios de compactación y relleno de la porosidad primaria y el inicio de formación de porosidad secundaria debida a la disolución de los granos de feldespato. Este hecho podrá ser mejor valorado una vez que en los próximos capítulos se realicen observaciones sobre las composiciones y la proporción de las diferentes fases minerales y en especial de los minerales de la arcilla y sus índices de cristalinidad, así como la presencia de minerales interestratificados. La compactación no ha sido la causante de la disminución de la porosidad por su escaso enterramiento, sino que el factor determinante en este sentido sería la infiltración mecánica y biológica o la neoformación de arcillas en los espacios intergranulares.

Las disoluciones observadas sobre los granos de feldespatos podrían tener diferentes explicaciones. Diversos autores proponen que la acción biogénica sobre sedimentos durante una fase edáfica origina ataques a los feldespatos de los que se obtienen potasio y silicio necesarios para sus funciones vitales, otros los relacionan con cambios en el pH de los suelos en los que quedan una vez que son meteorizados de la roca madre y otros los relacionan con las fases diagénicas. Dado que también se han observado *chips* de carbonatos re TRABAJADOS, granos de cuarzo con golfos de corrosión y grados de alteración de feldespatos (en especial plagioclasas) muy variables, la posibilidad de que las disoluciones se deban a procesos físico-químicos o biológicamente inducidos en ambientes edáficos es la que nos parece más plausible.

En el caso de los sedimentos del yacimiento de Húmera se observan unas características texturales que en general son semejantes a las comentadas para Somosaguas. Sin embargo, la existencia de cementos poiquilótópicos de calcita en determinadas zonas es una característica que claramente diferencia los procesos que han tenido lugar en uno y en otro yacimiento, además de diferencias en las composiciones químicas de los minerales de la arcilla, como se verá con detalle en el capítulo 7. El hecho de que estos cementos sean muy discontinuos puede indicar estadios tempranos

de la precipitación y por lo tanto de condiciones incipientes de diagénesis. Es importante advertir que en los lugares en los que se están formando estos cementos la cantidad de minerales de la arcilla es mínima o inexistente. Estos cementos carbonáticos ocupan la totalidad del espacio intergranular allá donde se han generado. En cambio los carbonatos presentes en otras zonas de los niveles estudiados son micríticos y envuelven los granos detríticos y toman formas irregulares compartiendo el espacio con los recubrimientos de arcillas. Múltiples estudios han mostrado la relación entre la presencia completa de recubrimientos de arcillas autigénicas (*coatings*) y la nula cementación, lo que ha sido de gran importancia en estudios de reservorios de combustibles fósiles. El hecho de que los recubrimientos de arcillas inhiban la formación de cementos, principalmente de cuarzo pero también de carbonatos, se debe a que estos *coatings* previenen la nucleación del cuarzo o los carbonatos sobre los granos detríticos (Heald y Larese, 1974; Tillman y Almon, 1979, entre otros). Pero a su vez las esmectitas generan zonas con altos pH que son propicios para la disolución de feldespatos y cuarzo, y la precipitación de carbonatos, al mismo tiempo que la sílice puede migrar hacia zonas de menor pH, donde precipitarían cementos de cuarzo (Thomson, 1959; Eslinger y Peaver, 1988). Lo expuesto puede explicar los procesos de cementación diferencial observados, ya que en los lugares en los que ha sido mayor la infiltración y neoformación de arcillas los cementos carbonáticos no han podido formarse, desplazándose su precipitación a zonas más porosas y con menor presencia de recubrimientos de arcillas.

La disolución de los feldespatos es diferencial y más energética en zonas favorables (Nixon, 1979) como planos de macla, defectos cristalográficos o fracturas. El mecanismo de alteración y la secuencia de transformación de feldespatos en arcillas están controlados por la disolución-reprecipitación (Tsuzuki y Kawabe, 1983; Drief *et al.*, 2001). En el área madre, donde las temperaturas serían más bajas (alta montaña) y las precipitaciones mayores, debido al efecto de las lluvias orográficas, se podrían haber dado las condiciones necesarias para la formación de caolinita a partir de feldespatos, según la reacción:



Sin embargo, la observación de las morfologías, en algunos casos extremadamente delicadas, generadas por la disolución parcial de los feldespatos indican que se han producido en el área de depósito o en zonas muy cercanas a ella, ya que no habrían podido resistir un transporte importante sin ser fracturados casi por completo (Figura 5.9). Por lo tanto cabe pensar que se produjeron unas condiciones de disminución del pH en áreas cercanas a los dos yacimientos estudiados o disminuyeron las actividades de K y Na. Sin embargo la formación de cementos carbonáticos en estas zonas indica condiciones de pH más elevados. Dado que los sedimentos provenientes de áreas graníticas presentan pH intermedios-ácidos es probable que por la acción edáfica en diferentes lugares de su sedimentación los pH hayan bajado aún más generando procesos de disolución de feldespatos que tras el subsiguiente transporte, hasta el siguiente punto de depósito, se hayan redondeado perdiendo las aristas y salientes debidos a la disolución. Solo los granos parcialmente disueltos en zonas muy cercanas a su actual ubicación en el área de estudio seguirían mostrando esas texturas de disolución tan extremas. Posteriormente, en áreas muy cercanas a los depósitos actuales o incluso en los mismos yacimientos se habría producido un aumento del pH, que favoreciese la precipitación de cementos calcíticos y parches o intercrecimientos de micrita con

arcillas así como la neoformación de montmorillonitas, como se describirá en el capítulo 7. Estas variaciones de pH podrían estar causadas por cambios en la altura de las aguas subterráneas, proceso común en zonas con variaciones de temperatura y precipitaciones en ambientes semiáridos (Bustillo y Alonso-Zarza, 2003, 2007; Carrasco *et al.*, 2008).

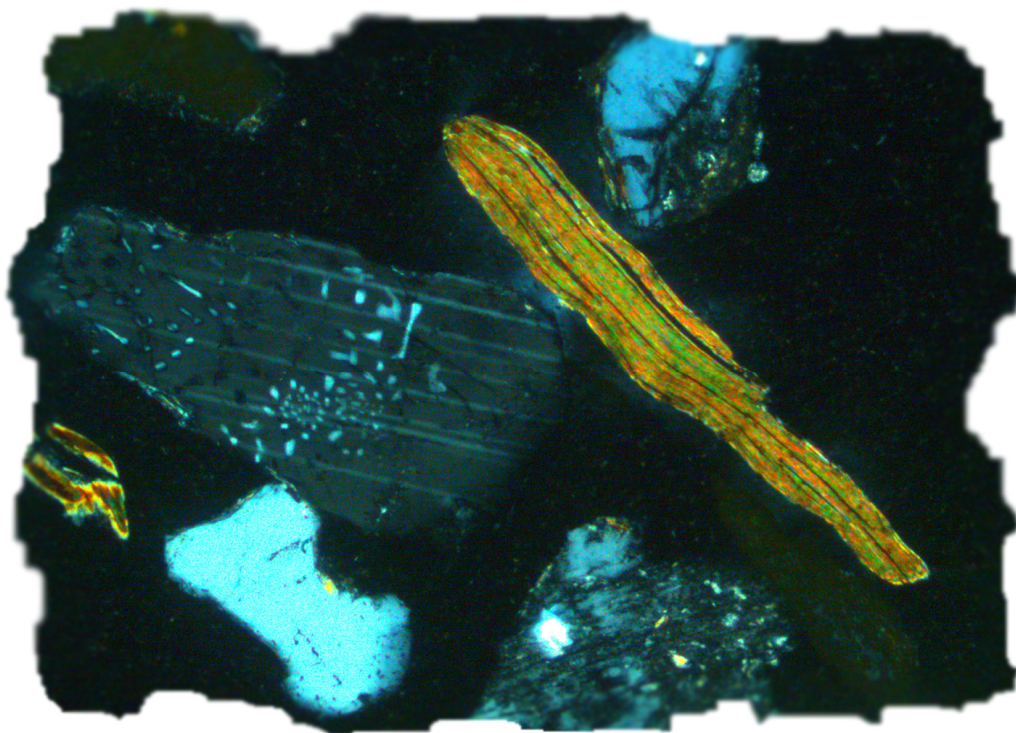
Según la clasificación de Pettijohn *et al.* (1972) se pueden predecir las presiones de soluciones intersticiales y la permeabilidad en materiales sedimentarios no orientados a partir de los tipos de contactos entre granos, el empaquetado, la cementación y las matrices arcillosas, etc. En el caso de las muestras de Somosaguas y Húmera la mayoría de los contactos son inexistentes o largos y en las muestras matriz-soportadas son flotantes, existiendo cementación por carbonatos en Húmera y por cementos filosilicáticos en ambos yacimientos, teniendo en ambos casos baja porosidad interconectada, que está ocupada total o parcialmente por minerales de la arcilla neoformados, que a su vez generan gran microporosidad. Con estas características se podría inferir una baja permeabilidad de estos sedimentos. En el capítulo 7 se tratará de forma más detallada la posibilidad de variaciones composicionales debidas a intercambios de cationes con las soluciones del medio durante la transformación y neoformación de minerales de la arcilla.

De lo expuesto en este apartado podemos concluir que la historia formadora de los sedimentos estudiados ha sido relativamente compleja con diversas fases de transporte y retrabajamiento, sedimentación y acción edáfica, y la acción de procesos diagenéticos incipientes en el área de estudio. Los procesos de disolución de feldespatos y cementación de carbonatos indicarían variaciones en las condiciones del pH del medio que pasaría de valores bajos en áreas alejadas del yacimiento a valores aptos para la precipitación de carbonatos en la zona de los yacimientos. También cabe destacar las posibles variaciones en las actividades de los cationes alcalinos K, Na y Ca en ambientes edáficos que facilitarían las alteraciones de los feldespatos correspondientes.

Capítulo 6

Análisis Composicional de la Fracción Arenosa

¿Habrá alguno tan menguado de sindéresis que no repare que allí donde los principios o los hechos son descubiertos brotan también, por modo inmediato, las aplicaciones?
Santiago Ramón y Cajal



Publicaciones relacionadas:

Fesharaki, O., Arribas, J. & López Martínez, N. (2015) Composition of clastic sediments from the Somosaguas area (Middle Miocene, Madrid Basin): insights into provenance and palaeoclimate. *Journal of Iberian Geology*, 41(2):205-222.

6.1- Introducción

El relieve, el transporte y el clima son algunos de los más importantes factores modificadores de la composición final de un depósito arenoso (Johnsson, 1993) y conjuntamente con la litología del área fuente y la tectónica definen el concepto de procedencia (Basu, 1985). La petrografía de arenas y areniscas ha demostrado ser un potente instrumento en la inferencia del ambiente geotectónico (Ingersoll, 1978; Dickinson y Suczek, 1979; Dickinson y Valloni, 1980; Dickinson *et al.*, 1983; Dickinson, 1985) y la litología del área fuente (Blatt, 1967; Dickinson, 1970; Pettijohn *et al.*, 1972; Basu, 1976; Mack, 1981; Palomares y Arribas, 1993; Arribas y Tortosa, 2003). Desde los años setenta se han realizado trabajos que han mostrado la relación entre el clima y la composición de los depósitos arenosos en sedimentos actuales (Young *et al.*, 1975; Basu, 1976; Suttner *et al.*, 1981; Franzinelli y Potter, 1983) y ésta es una ventaja a la hora de interpretar los climas del pasado a través de los depósitos más antiguos (p. ej. Armas *et al.*, 2014), como los que nos ocupan en esta Tesis. Casi de forma simultánea a estas investigaciones, y con el objetivo de conocer mejor el grado de influencia de cada uno de estos factores en la composición de un sedimento, se vienen realizando investigaciones sobre depósitos actuales de medios fluviales, transicionales y marinos en todo el mundo (Ingersoll y Suczek, 1979; Le Pera y Critelli, 1997; Le Pera *et al.*, 2001, entre otros) incluidos sedimentos fluviales de la cuenca de Madrid (Arribas *et al.*, 2000; Arribas y Tortosa, 2003; Le Pera y Arribas, 2004). En general los trabajos petrográficos en abanicos aluviales son menos numerosos, y en especial los que hacen referencia al área oeste de la cuenca de Madrid. Como ya se ha comentado en capítulos anteriores, diversos estudios sobre las características composicionales (minerales ligeros y densos) y texturales de las arenas depositadas en las cabeceras de los arroyos actuales del Sistema Central (área fuente de los yacimientos de Somosaguas y Húmera), permiten hacer una comparación entre las asociaciones de minerales y sus características texturales en el área fuente (Palomares *et al.*, 1990; Palomares y Arribas, 1993; Tortosa *et al.*, 1988; 1989; 1991) y en el área de estudio en esta Tesis, para poder inferir las variaciones que sufren estos sedimentos en el área fuente, durante el transporte y en la propia cuenca sedimentaria.

El análisis de la fracción arenosa de los sedimentos estudiados se ha realizado tanto para la fracción ligera como la densa. La diferenciación entre minerales ligeros y densos se hace en base a su densidad, ya que tanto su abundancia como su comportamiento hidrodinámico son diferentes (Griffiths, 1967). El límite entre ambos se establece, en general, en torno a $2,83 \text{ g/cm}^3$ dado que los minerales más comunes de la fracción ligera (cuarzos y feldespatos) quedan por debajo de dicha densidad, separándose de los demás minerales. El caso de las micas es especial, ya que por su densidad deben concentrarse durante los tratamientos de separación, mediante líquidos densos, en las fracciones densas, sin embargo, su hábito y sus variaciones de densidad, debidas a sus abundantes cambios composicionales durante la alteración (principalmente en micas ferromagnesianas), generan un comportamiento hidráulico, según los medios sedimentarios de los que se trate, que los convierte en un grupo diferente a los dos anteriores, pudiendo concentrarse en ambas fracciones durante los tratamientos de separación.

De forma general, se puede decir que partículas con comportamientos hidráulicos similares se acumulan en las mismas fracciones de tamaño de grano y láminas de los cuerpos sedimentarios, por lo que son indicativos del medio de transporte y de

sedimentación, y su asociación es informativa del área fuente siempre que se tomen todas las precauciones para no perder información debida al amplio rango de fracciones de tamaño de grano en los que se concentra cada tipo de mineral. La abundancia relativa de los minerales densos frente a los ligeros y sus asociaciones pueden ser muy buenos indicadores de procedencia, pero por los problemas indicados (Feo-Codecido, 1956; Morton, 1985), en general, su uso como único indicador es complicado, aunque su estudio conjunto con el resto de la fracción arenosa y de los minerales de la arcilla puede proporcionar datos complementarios muy valiosos.

Además del gran número de datos que proporcionan los clásicos estudios petrográficos, basados en la cuantificación de las proporciones de las diferentes componentes que forman un sedimento o roca sedimentaria, cada vez son más utilizados los estudios varietales. Estos estudios se basan en la cuantificación de las diferentes variedades de un mismo mineral o fragmento de roca. Estas variedades hacen referencia a características morfológicas, cristalográficas y químicas (hábito, tipo de extinción, color, número de cristales, contenido en determinados elementos químicos, maclas, zonados, etc.). En este sentido la bibliografía muestra trabajos de estudios varietales en cuarzos, en feldespatos, fragmentos de roca y minerales densos. Los cuarzos se han evaluado principalmente respecto a dos características, el número de cristales (monocristalinos o policristalinos, y dentro de éstos últimos el número y disposición de los cristales) y el tipo de extinción (recta u ondulante) según lo sugerido por los estudios clásicos (Blatt y Christie, 1963; Blatt, 1967; Basu *et al.*, 1975; Young, 1976, entre otros), mientras que, tanto los feldespatos (presencia y tipos de maclas, la presencia de texturas granofídicas, gráficas, mirmequíticas, peritíticas y la presencia de composiciones extremas) como los fragmentos de roca (el número, tamaño y la disposición de los cristales internos, la existencia de orientaciones preferentes, etc.) han sido estudiados desde muy diversos puntos de vista (p. ej. Helmold, 1985; Garzanti y Vezzoli, 2003). Sin embargo, se han venido observando, que estos estudios son muy efectivos en algunas regiones y menos en otras. Actualmente el estudio varietal de cuarzos es una técnica utilizada en la mayoría de los trabajos de análisis de la procedencia, mientras que los problemas que presentan los fragmentos de roca, y principalmente los feldespatos, los han reducido a trabajos locales en los que hay una seguridad de que el grado de diagénesis o el efecto del transporte no han sido importantes. Al igual que se ha comentado para los minerales ligeros también son muy utilizados los estudios varietales en los minerales densos, principalmente respecto a tres características: la composición (por ejemplo en las variedades de granates, Morton, 1987), el color o el pleocroismo (por ejemplo en las variedades de turmalinas, Mange-Rajetzky, 1995), y el hábito (granates, turmalinas y en especial circones, Pupin, 1976). El estudio exoscópico de granos detríticos (Moral Cardona *et al.*, 1996), tanto ligeros como densos, también proporciona información valiosa respecto a las características de transporte y medio sedimentario que han afectado a cada grano en particular y por lo tanto pueden permitir la separación de un mismo tipo de mineral (por ejemplo, granates, turmalinas, cuarzos, circones, etc.) en varios grupos diferentes en función de las características que definen su “vida” (tipo de génesis, tipo de transporte, tipos de alteraciones o procesos diagenéticos sufridos, etc.).

La madurez mineralógica hace referencia a las tendencias de alteración que suelen dejar como últimos minerales durante el proceso de transporte a los cuarzos y algunos minerales densos muy resistentes como los circones, las turmalinas y los rutilos. Se suelen usar índices como el ZTR (Hubert, 1962) sensible a las variaciones de la

madurez o índices sensibles a la procedencia como ATi (índice apatito-turmalina) o ZTi (índice circón-turmalina) resumidos en el trabajo de Morton y Hallsworth (1994).

El principal objetivo de este capítulo es mostrar los resultados del análisis petrográfico realizado en los sedimentos de los yacimientos de Somosaguas y Húmera, y exponer los datos obtenidos del estudio de las tipologías de cuarzos (cuantitativo) y variedades de feldespatos y fragmentos de roca, así como de las asociaciones de minerales densos. Los datos se han representado en diferentes gráficas y sus valores se han recalculado para determinados índices que permiten inferir la procedencia, el ambiente geotectónico, el grado de madurez mineralógica y algunas características paleoambientales y paleoclimáticas del área de estudio durante el Mioceno medio (Aragoniense medio).

6.2- Metodología

Para el estudio petrográfico de las arenas del área de Somosaguas-Húmera se han muestreado todas las columnas descritas y se han seleccionado un total de 34 niveles, representativos de todos los tramos definidos (H1 a H4 y T1 a T6). Cuando alguno de los niveles presentaba características diferenciables a simple vista, como variaciones del color o de la granulometría, se seleccionaron dos o más muestras para comprobar si estas diferencias se observaban también en relación con la composición. Este es el caso del tramo T3, que como ya se ha comentado, presenta diferencias internas (Cuevas-González, 2005a; Élez, 2005; Fesharaki, 2005; Domingo *et al.*, 2009), por lo que se han seleccionado 6 muestras de base a techo de este tramo para comprobar la posible existencia de variaciones composicionales en la vertical y sus posibles relaciones con los cambios climáticos indicados por estudios previos en este área. El estudio de la fracción ligera, de las muestras procedentes de los niveles definidos en los sondeos realizados en Somosaguas, muestran tendencias similares a las que se comentarán para las muestras de los afloramientos, sin embargo, al ser parte de una publicación en revisión (Alonso-Torres *et al.*, enviado), no se incluyen en esta Tesis.

Para evitar la influencia de la granulometría sobre las proporciones de minerales ligeros que forman cada muestra (Basu *et al.*, 1975; Young, 1976; Zuffa, 1985), el estudio petrográfico de los minerales ligeros se ha llevado a cabo sobre la fracción de arena media (0,25 a 0,50 mm) separada durante el tamizado para el estudio clastométrico (ver capítulo 5), y que junto con los datos de minerales densos ha permitido comparar los resultados de este trabajo con los obtenidos por estudios previos realizados en el área fuente (Palomares *et al.*, 1989; Tortosa *et al.*, 1988, 1989, 1991, entre otros). Al ser arenas sueltas (tamizadas) la fracción seleccionada se ha embutido en resina Epoxi para poder realizar una probeta artificial de la misma y poder posteriormente cortar y realizar las correspondientes láminas delgadas. Todas las láminas delgadas han sido atacadas con ácido fluorhídrico y teñidas con cobaltinitrito sódico para facilitar la diferenciación de los feldespatos (Chayes, 1952).

Las diferentes clases modales de granos se han cuantificado bajo microscopio óptico de luz transmitida (MOLT), contabilizando en cada lámina un mínimo de 400 puntos. Con este propósito se ha utilizado el método integrado de conteo de puntos (Gazzi, 1966; Dickinson, 1970; Zuffa, 1985), que combina aspectos de la metodología tradicional propuesta por Pettijohn (1957) con aspectos del método propuesto por Gazzi-Dickinson (Ingersoll *et al.*, 1984). Se ha utilizado una versión modificada del

método de conteo micrométrico-puntual propuesto por Glagolev-Chayes (1933-1956), de forma que cada fase mineral de un grano que coincidiese con la cruceta del ocular del microscopio se contabilizaba, según se movía la platina graduada siguiendo la dimensión principal de la lámina delgada y a intervalos superiores a los 0,5 mm, para evitar que el mismo grano fuese contabilizado en dos ocasiones.

Se han considerado un total de 25 clases petrográficas agrupadas en cuatro categorías principales (Tabla 6.1), según la clasificación de Zuffa (1980): carbonáticas extracuenciales (*carbonate extrabasinal*, CE), no carbonáticas extracuenciales (*noncarbonate extrabasinal*, NCE), carbonáticas intracuenciales (*carbonate intrabasinal*, CI) y no carbonáticas intracuenciales (*noncarbonate intrabasinal*, NCI). Se han considerado los cuatro tipos de cuarzo definidos por Basu *et al.* (1975): cuarzo monocristalino con extinción de más de 5° (ondulatorio), cuarzo monocristalino con extinción de menos de 5° (recto), cuarzo policristalino con 2-3 cristales por grano y cuarzo policristalino con más de 3 cristales por grano. Además de estas variedades se han anotado los cuarzos policristalinos con más de 10 cristales por grano y orientación preferente, los signos de corrosión (golfos de corrosión), la presencia de inclusiones sólidas (minerales densos y micas) en cuarzos y los posibles restos de crecimientos sintaxiales. En cuanto a los feldespatos se han diferenciado entre feldespato potásico (ortosa y microclina) y plagioclasa, y se han anotado la presencia y tipos de maclas y zonados, los grados de alteración de las plagioclasas (descrito en el capítulo anterior) y los tipos de texturas de intercrecimiento (granofídicas, gráficas, mirmequíticas, micropertíticas, etc.). El estudio de algunas muestras mediante MEB ha permitido obtener unos 30 análisis composicionales de plagioclasas. Finalmente, en cuanto a los fragmentos de roca, en el conteo general se han diferenciado por una parte los granos procedentes de rocas granudas (faneríticas) y por otra los lábiles, dentro de los cuales de una forma cualitativa se han anotado los diferentes tipos que se observaban.

Para separar los minerales densos del resto del sedimento se ha utilizado politungstato sódico. Este líquido presenta la ventaja de ser más seguro y algo más barato que otros líquidos densos, sin embargo el límite de separación de densidades es más complicado de conseguir. En algunos casos se han tenido que hacer ajustes antes de realizar las separaciones minerales (Pérez Mazario *et al.*, 1992). La densidad finalmente utilizada ha sido de 2,83g/cm³ ya que por encima quedan minerales como apatito, rutilo, circón, turmalina, granate, andalucita, etc. y por debajo cuarzos y feldespatos, todos ellos más o menos comunes en sedimentos procedentes de granitoides y rocas metamórficas de alto grado. Una vez separada la fracción densa de la ligera, utilizando el método y los materiales propuestos por Pérez Mazario *et al.* (1992), se ha lavado cada muestra con agua destilada y se ha secado a 40°C. Como ya se ha comentado, una pequeña porción de los granos de mica se han quedado en la fracción ligera y el resto en la fracción gruesa, lo que habrá que tener en cuenta a la hora de interpretar los datos porcentuales de cada tipo de mineral denso.

Por otra parte, también el estudio bajo microscopio o lupa de gran aumento es complicado en el caso de los minerales densos. La técnica utilizada con mayor aceptación consiste en que una vez separados los minerales densos, se extiendan (“espolvoreen”) sobre una lámina delgada recubierta por una fina capa de bálsamo del Canadá o resina plástica, en el que quedan incluidos (p. ej. Palomares *et al.*, 1989; Mange y Maurer, 1991) y pueden ser observados bajo microscopio. Se presenta una dificultad que es el reconocimiento de estos granos ya que no presentan siempre las

propiedades que tendrían en lámina delgada (color, pleocroísmo, extinción, etc.). Las características principales y modos de reconocimiento se describen en varios trabajos clásicos (Pérez Mateos, 1965; Parfenoff *et al.*, 1970; Mange y Maurer, 1991).

Los minerales densos que se describen en este trabajo se han obtenido tanto durante el estudio petrográfico como durante las sesiones de triado de microfósiles, en las cuales se separaban minerales densos que se encontrasen en las fracciones analizadas por este método. Obviamente, esta segunda fuente de datos solo tiene un valor cualitativo ya que solo se ha realizado sobre determinadas muestras (las que proceden de T1 y H3) y en determinadas fracciones.

Para el estudio en lámina delgada se seleccionaron un total de 8 muestras de los afloramientos y 12 de los sondeos de Somosaguas y 9 muestras de los afloramientos del yacimiento de Húmera. Obviamente, algunos de los minerales densos más comunes en áreas de procedencia granítica o gnéisica se concentran, en parte, en fracciones muy finas, incluso en las de tamaño limo (por ejemplo los circones y minerales de titanio como el rutilo), por lo que es posible que algunos minerales presentes no estén representados en este análisis en su porcentaje real. A pesar de este hecho los datos son útiles en términos de comparación entre muestras, ya que en todas se han tomado las mismas fracciones para su análisis. La fracción utilizada para el estudio de minerales densos ha sido la intermedia entre 63 y 125 micras, según la sugerencia metodológica de Morton y Hallsworth (1994) y Von Eynatten (1996). En el yacimiento de Somosaguas se ha realizado el conteo de 250-300 granos por muestra y en Húmera de 200-250, siguiendo la dimensión principal de cada lámina.

Clases Petrográficas		QFR Pettijohn <i>et al.</i> 1972	QmFLt Dickinson <i>et al.</i> 1983	QmKP Dickinson 1985	P/Ft Dickinson 1970
NCE	Cuarzo monocristalino recto	Q	Qm	Qm	----
	Cuarzo monocristalino ondulatorio	Q	Qm	Qm	----
	Cuarzo policristalino (2-3 cristales)	Q	Qm	Qm	----
	Cuarzo policristalino (>3 cristales)	Q	Qm	Qm	----
	Cuarzo en F.R. fanerítica	R	Qm	Qm	----
	Cuarzo en F.R. meta-sedimentaria	R	Qm	Qm	----
	Feldespato potásico (cristal)	F	F	K	F
	Microclina	F	F	K	F
	Feldespato potásico en F.R. fanerítica	R	F	K	F
	Feldespato potásico en F.R. meta-sedimentaria	R	F	K	F
	Plagioclasea (cristal)	F	F	P	P
	Plagioclasea en F.R. fanerítica	R	F	P	P
	Filita y lutita	R	Lt	----	----
	Esquisto	R	Lt	----	----
	Chert	Q	Lt	----	----
	Biotita (cristal)	----	----	----	----
	Moscovita (cristal)	----	----	----	----
	Biotita en F.R. fanerítica	R	----	----	----
	Moscovita en F.R. fanerítica	R	----	----	----
	Minerales densos	----	----	----	----
NCI	Intraclasto	----	----	----	----
	Cuarzo en intraclasto	----	Qm	Qm	----
	Feldespato potásico en intraclasto	----	F	K	F
	Plagioclasea en intraclasto	----	F	P	P
CI	Carbonato (micrítico)	----	Lt	Lt	----

Tabla 6.1- Clave para las clases petrográficas y los parámetros recalculados (F.R. = Fragmento de Roca).

6.3- Resultados del Análisis Composicional

Para el estudio modal de la fracción arenosa de Somosaguas (afloramientos) y Húmera se ha realizado una clasificación basada en primer término en las 4 categorías definidas por Zuffa (1980), y posteriormente en los tipos de componentes presentes en cada muestra.

6.3.1- Sedimentos de los Yacimientos de Somosaguas

Comprenden los tramos T1 a T5 y las muestras de la columna 7 (posible tramo T6). Las muestras relativas a los tramos definidos en los sondeos han sido estudiados y reflejados en la publicación de Alonso-Torres *et al.* (*enviado*) por lo que no se comentarán aquí.

6.3.1.1-Tipos de Granos

Extracuencales no carbonáticos (NCE)

Esta categoría incluye los granos más abundantes en esta área: cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca, minerales densos y micas.

Cuarzo: en todas las muestras de Somosaguas hay un claro predominio del cuarzo monocristalino recto (no ondulatorio, 65,4% a 85,7% del total de granos de cuarzo) sobre el ondulatorio (6,5% a 22,1% del total de granos de cuarzo). Además, los granos de cuarzo monocristalino son mucho más abundantes que los policristalinos (Tabla 6.2). La mayoría de los granos de cuarzo policristalino presentan entre 2 y 5 cristales, aunque también se han observado algunos granos con 10 o más cristales, presentando cierta orientación preferente. En esta categoría se contabilizan todos los cuarzoes incluidos en fragmentos de roca granuda (fanerítica) y en intraclastos. En torno a un 10% de los granos de cuarzo presentan inclusiones de micas o minerales densos (principalmente turmalina, apatito y rutilo, aunque también opacos, granates, circones, etc.), poco variable en todas las muestras analizadas (Figura 6.1). Durante las labores de triado de microfósiles se han separado 2 cuarzoes idiomorfos biterminados y 2 granos de cuarzoes idiomorfos rojos (¿Jacinto de Compostela?) que deberán ser mejor estudiados en el futuro para la inferencia de su origen.

Feldespatos: en esta categoría se incluyen cristales de feldespato potásico y plagioclasas, así como cristales de éstos englobados en intraclastos y fragmentos de roca fanerítica y sedimentaria (meta-arenitas). En los feldespatos potásicos se han considerado como ortosa los cristales no maclados o aquellos que presentaban maclas simples, mientras que se han asignado a la variedad microclina los que presentaban maclas en enrejado. Los feldespatos potásicos predominan sobre las plagioclasas, y en los primeros son más abundantes las ortosas que las microclinas. Los granos de microclina se mantienen prácticamente constantes a lo largo de la sucesión sedimentaria, en valores inferiores al 2% del total de granos y del 10% de feldespatos. En cuanto a las plagioclasas, la composición de los granos medidos en EDX-MEB indica un contenido en Na entre 30 y 40 veces superior al de Ca, de forma que es un dato indicativo de la presencia mayoritaria de plagioclasas sódicas (albitas) o términos intermedios más ricos en Na. Los granos de plagioclase zonada son muy minoritarios en las muestras estudiadas, no superando el 0,3% del total de granos en ninguna muestra.

Las texturas de intercrecimiento (mirmequitas, microperfitas y texturas gráficas) son bastante comunes, llegando a suponer cerca del 15-20% de los granos de feldespato de algunas muestras (Figura 6.2).

Clases Petrográficas		Yacimientos de Somosaguas															
		Tramo T1				Tramo T2				Tramo T3							
		S-1	3-1	4-1	N-1	S-8	S-10	3-9	3-11	4-5	3-13	4-7	4-8	N-4.1	N-4.2	N-4.3	N-4.4
Qmnu	Cuarzo monocristalino recto	169	156	155	159	144	139	135	121	152	142	135	133	144	140	139	138
Qmu	Cuarzo monocristalino ondulatorio	38	39	43	42	42	43	38	37	50	33	39	34	35	34	33	31
Qp2-3	Cuarzo policristalino (2-3 cristales)	25	19	22	24	10	15	12	11	15	12	8	10	12	9	8	12
Qp>3	Cuarzo policristalino (>3 cristales)	16	17	17	14	14	9	10	10	9	8	10	5	9	11	6	3
Qrpg	Cuarzo en F.R. fanerítica	11	9	9	10	12	12	15	14	10	27	16	23	24	23	25	20
Qrms	Cuarzo en F.R. meta-sedimentaria	1	0	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	0
Ks	Feldespato potásico (cristal)	100	90	94	99	86	94	88	77	91	83	75	79	81	85	79	79
Kmic	Microclina	2	6	4	4	6	6	5	6	7	7	9	8	9	4	7	9
Krpg	K-feldespato en F.R. fanerítica	6	10	5	7	15	17	15	12	13	19	21	18	19	18	22	20
Krms	K-feldespato en F.R. meta-sedimentaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0
Ps	Plagioclase (cristal)	44	45	43	48	53	55	57	54	49	59	57	60	57	52	59	61
Prpg	Plagioclase en F.R. fanerítica	7	10	9	7	9	8	5	7	6	13	10	10	12	11	12	13
Bt	Biotita (cristal)	7	1	7	7	20	18	26	17	8	3	8	2	11	9	4	5
Ms	Moscovita (cristal)	5	7	3	3	2	7	6	6	10	6	5	5	6	6	4	4
Btrpg	Biotita en F.R. fanerítica	0	0	0	0	9	3	3	5	2	0	1	0	4	1	0	0
Msprpg	Moscovita en F.R. fanerítica	0	0	0	0	0	2	1	0	3	0	2	1	1	0	1	2
Ch	Chert	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
Shf	Filita y Lutita	0	1	0	4	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	1
Sch	Esquisto	2	1	2	6	1	1	2	2	1	4	3	1	1	1	4	3
Dm	Minerales densos	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
In	Intraclasto	8	7	6	3	6	6	7	7	2	7	9	7	10	7	7	6
Qnci	Cuarzo en Intraclasto	1	5	5	11	4	9	7	7	5	7	7	8	8	3	3	0
Knci	Feldespato potásico en Intraclasto	0	3	2	2	4	1	2	3	1	2	3	2	4	1	1	2
Pnci	Plagioclase en Intraclasto	1	0	2	4	4	2	1	1	4	2	2	1	3	5	1	0
Mc	Carbonato (micritico)	6	9	4	7	11	16	15	20	2	9	14	11	15	15	10	9
TOTAL		449	435	435	463	457	465	452	419	442	446	438	422	466	437	428	421

Clases Petrográficas		Yacimientos de Somosaguas (continuación)					
		Tramo T4		Tramo T5		Tramo T6	
		6-2	6-4	6-5	6-6	7-1	7-2
Qmnu	Cuarzo monocristalino recto	127	120	125	128	135	138
Qmu	Cuarzo monocristalino ondulatorio	20	18	12	10	12	11
Qp2-3	Cuarzo policristalino (2-3 cristales)	9	12	14	12	8	10
Qp>3	Cuarzo policristalino (>3 cristales)	3	1	3	4	3	2
Qrpg	Cuarzo en F.R. fanerítica	27	29	25	28	26	28
Qrms	Cuarzo en F.R. meta-sedimentaria	0	1	0	0	0	0
Ks	Feldespato potásico (cristal)	82	79	84	81	85	88
Kmic	Microclina	4	3	2	2	3	2
Krpg	Feldespato potásico en F.R. fanerítica	22	24	26	29	25	30
Krms	Feldespato potásico en F.R. meta-sedimentaria	0	0	0	0	0	0
Ps	Plagioclase (cristal)	67	68	73	69	72	84
Prpg	Plagioclase en F.R. fanerítica	15	13	9	11	12	10
Bt	Biotita (cristal)	10	15	9	12	11	7
Ms	Moscovita (cristal)	10	8	7	5	1	5
Btrpg	Biotita en F.R. fanerítica	0	0	1	0	1	3
Msprpg	Moscovita en F.R. fanerítica	0	1	2	0	1	2
Ch	Chert	0	0	0	0	0	0
Shf	Filita y Lutita	1	0	0	0	1	0
Sch	Esquisto	3	2	0	0	1	2
Dm	Minerales densos	0	0	1	3	3	1
In	Intraclasto	3	2	3	3	5	2
Qnci	Cuarzo en Intraclasto	2	2	0	0	0	0
Knci	Feldespato potásico en Intraclasto	1	2	4	2	1	0
Pnci	Plagioclase en Intraclasto	0	0	0	0	1	0
Mc	Carbonato (micritico)	18	14	12	10	8	9
TOTAL		424	414	412	409	415	434

Tabla 6.2- Datos del conteo de puntos para las muestras de los afloramientos del yacimiento de Somosaguas.

Fragmentos de roca: se han considerado en esta categoría todos los granos con dos o más especies minerales, en los que ninguno comprende más del 90% de la sección observada en la lámina delgada. Los fragmentos de roca con cristales menores a los 0,062 mm se han considerado “lábilas” (L) de acuerdo con el criterio de Dickinson (1970), siendo normalmente fragmentos afaníticos de filitas, pizarras y esquistos. Existen muy diferentes tipos dentro de éstos en relación con la clasificación propuesta por Garzanti y Vezzoli (2003; ver Figura 6.3). También los fragmentos de chert se han incluido en este grupo (Dickinson, 1970; Dickinson *et al.*, 1983; Zuffa, 1980). Los fragmentos de roca formados por cristales mayores de 0,062 mm (faneríticas, R) se han anotado como los minerales que los constituyen, quedando así registrado tanto el fragmento de roca como el mineral concreto sobre el que ha caído la cruceta. También se incluyen en esta categoría los fragmentos de rocas meta-sedimentarias (Lms).

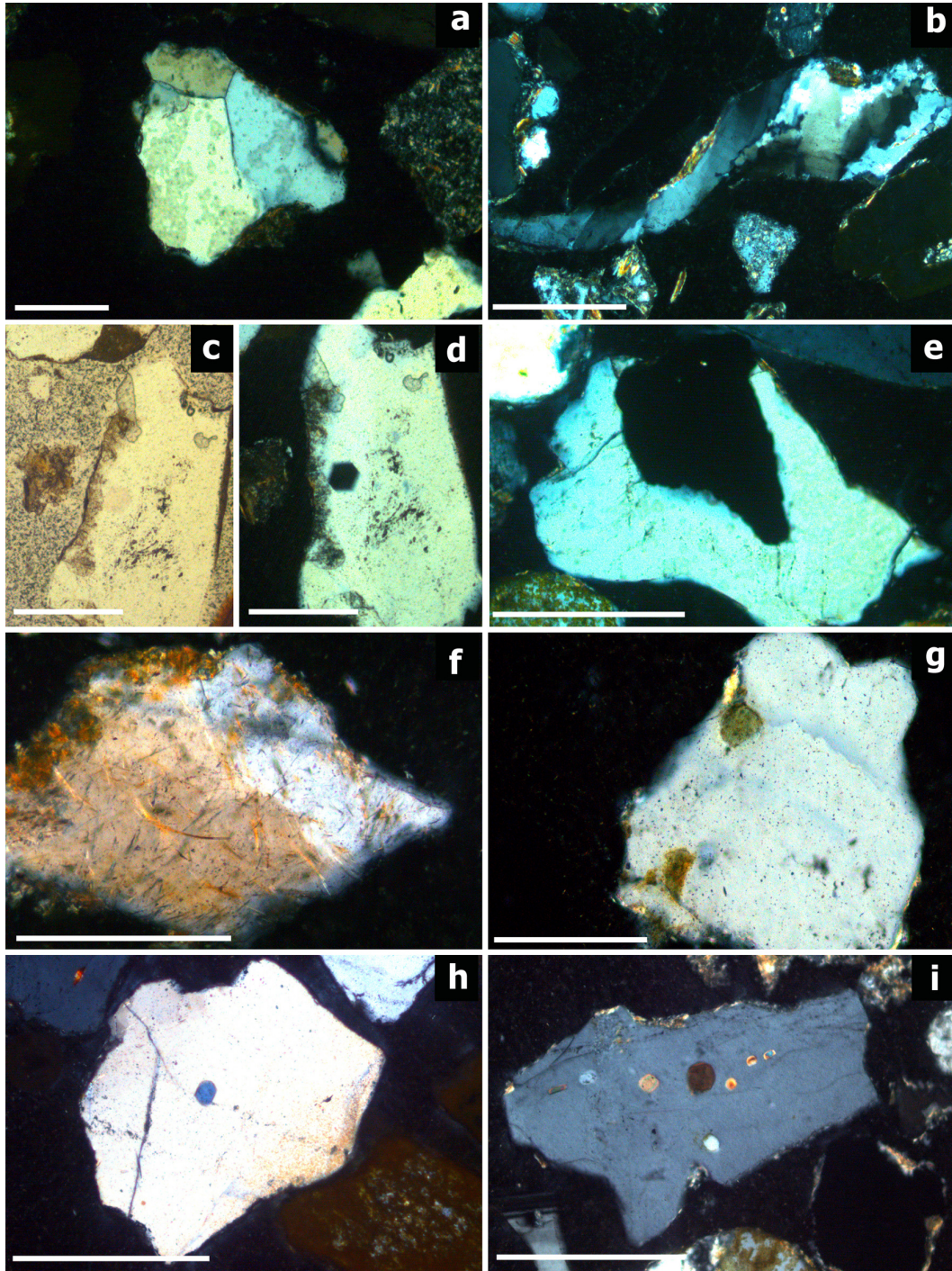


Figura 6.1- Diversos tipos de granos de cuarzo: a) cuarzo policristalino con tres cristales; b) cuarzo policristalino con más de 3 cristales, cierta orientación y extinción ondulante; c y d) cuarzo con inclusión de granate (nícoles paralelos y cruzados, respectivamente); e-i) inclusiones en cuarzo (opacos, rutilo, turmalina, apatito, micas y circones). La barra de escala mide 0,2 mm en todas las imágenes.

Los fragmentos de roca granítica y gnéssica presentan un claro predominio sobre el resto de tipos de fragmentos de roca. De forma general, y sin tener en cuenta pequeñas variaciones, la tendencia general muestra un aumento de los fragmentos de roca fanerítica de base a techo (T1 a T6) de la sucesión sedimentaria de Somosaguas. Estos fragmentos muestran pocos cristales (generalmente 2 a 5). Los fragmentos de rocas metamórficas de bajo o medio grado se distribuyen de forma irregular entre los diferentes niveles y tramos, representando generalmente menos del 5% del total de

granos. Los fragmentos de rocas meta-sedimentarias aparecen en muy bajas pero constantes proporciones de T1 a T4 y posteriormente disminuyen hasta T6. Se observan granos con tamaños de cristales altamente variables (Figura 6.3a).

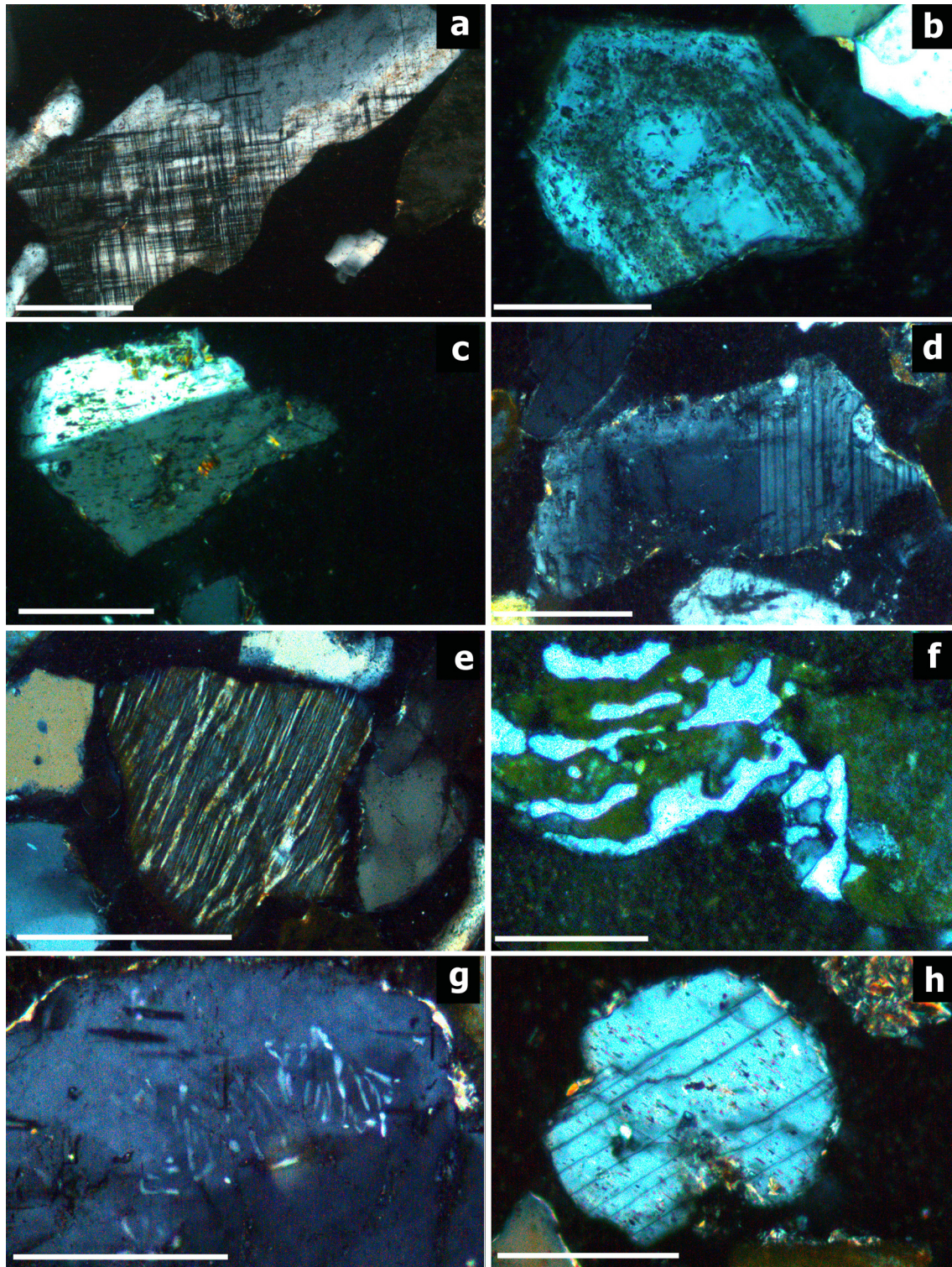


Figura 6.2- Diversos tipos de granos de feldespatos: a) microclina con macla en enrejado; b) feldespato zonado; c) ortosa con macla simple; d) plagioclasa zonada y con maclas polisintéticas; e) textura micropertítica; f) textura gráfica; g) textura mirmequítica; h) maclas polisintéticas distorsionadas por efecto de la presión. La barra de escala mide 0,2 mm en todas las imágenes.

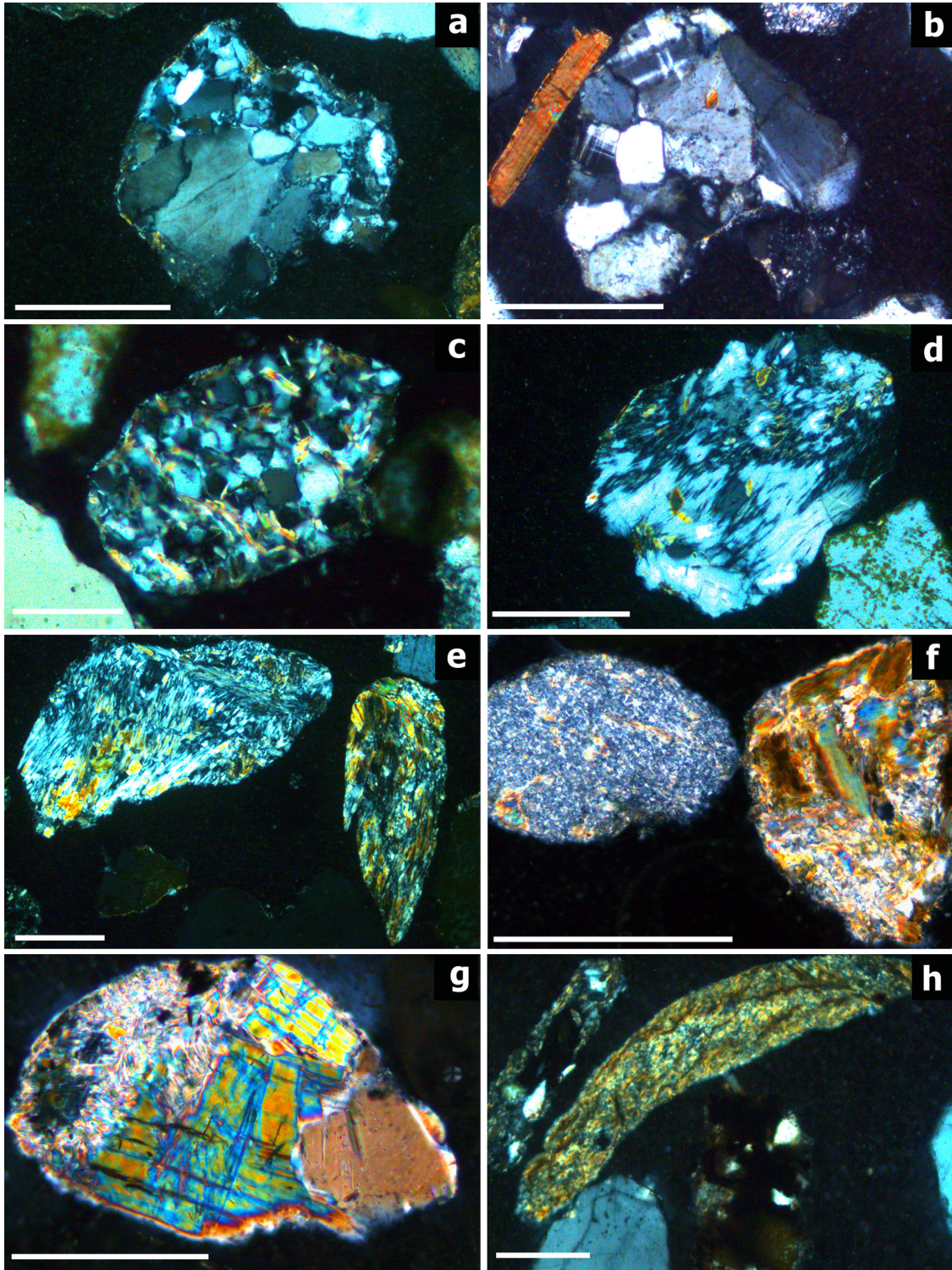


Figura 6.3- Diversos tipos de fragmentos de roca: a) F.R. meta-sedimentaria, que muestra gran variabilidad de tamaños de cristales; b) F.R. fanerítica con cristales de diferente composición; c-h) F.R. metamórficas (metasamitas y metapelitas) que muestran grados metamórficos y características variables entre los tipos Lsp y Lsp-Lmp₄ de Garzanti y Vezzoli (2003). La barra de escala mide 0,25 mm en todas las imágenes.

Micas: se incluyen en este grupo las partículas micáceas que forman cristales individuales de biotita o moscovita (y sus posibles alteraciones, que serán tratados en detalle en el siguiente capítulo) y cristales de estos mismos minerales presentes en fragmentos de rocas faneríticas. Las micas están presentes en proporciones más o menos

constantes respecto al resto de componentes, mostrando valores más altos en los niveles denominados arenas micáceas, principalmente en los tramos T2 y T4.

En algunas de las muestras del tramo T2 las micas, principalmente negras, alcanzan entre el 50% y el 90% de todos los granos, por lo que algunos de los niveles de este tramo no se han incluido en el estudio petrográfico (por ejemplo los niveles S-2, S-4, S-6, 4-2, N-3, etc.). Aunque por su densidad entrarían en el grupo de los minerales densos, por sus especiales características y comportamiento hidráulico, principalmente debidas a su hábito y su carga electrostática, se tratan en todo el trabajo como un grupo separado. De forma general predominan los granos de mica negra sobre las incoloras o blancas, siendo más claro este predominio en los niveles de arenas micáceas, sin embargo el tramo T3 parece tener una mayor proporción de micas blancas (moscovitas y fases similares como se explicará en el próximo capítulo). Algunas micas “negras” toman tonalidades doradas o verdosas en muestras de mano y parecen corresponderse a las micas más alteradas observadas al microscopio.

Minerales densos: en este grupo se incluyen todos los demás minerales que presentan una densidad mayor a $2,83 \text{ g/cm}^3$. Se han tenido en cuenta tanto los densos que aparecen incluidos en otros minerales (vistos en lámina delgada) como los que están en cristales individuales (separados mediante el uso del politungstato). Los separados manualmente durante el triado son de las mismas especies minerales y por lo tanto no han aportado datos adicionales, salvo la presencia de 1 grano de mineral metálico (¿molibdenita?). Como se observa en la Tabla 6.3 los minerales densos son muy escasos, no suponiendo nunca más del 3% en peso de la muestra (con la excepción de las arenas micáceas por su elevada concentración en micas), ni tampoco en número de granos como demuestran los pocos minerales densos aislados diferenciados durante el conteo en lámina delgada (Tabla 6.2). Se han diferenciado tres grupos de minerales densos: los opacos (no clasificados mediante estudios de microscopio de luz reflejada), los transparentes (contabilizados en sus diferentes especies minerales) y las micas (similares a las descritas en el punto anterior). Su asociación esta principalmente formada por transparentes (22-56%, menos en las arenas micáceas), opacos (un 10-25%, menos en las arenas micáceas) y micas (entre un 30% en algunos tramos de arenas gruesas y más de un 98% en algunos tramos de arenas micáceas). De forma general se observa una riqueza muy grande en micas en todos los niveles. La asociación de minerales transparentes presenta, en general, un claro predominio del triplete turmalina, apatito y circón, seguido de epidota, andalucita y granate. Otros minerales presentes en menor proporción y muy variables son sillimanita, estaurolita, hornblenda, esfena y rutilo (Tabla 6.3). De base a techo de la secuencia del área de Somosaguas disminuyen la sillimanita, andalucita, granate y estaurolita, y aumentan turmalina y apatito. En este yacimiento, también se observa una disminución de los opacos y aumento de los minerales densos transparentes en el mismo sentido.

Extracuencales carbonáticos (CE)

No se han observado granos de esta categoría.

Intracuencales no carbonáticos (NCI)

Esta categoría incluye pequeños agregados limo-arcillosos (intraclastos) que engloban granos de cuarzo, feldespatos y micas. Estos granos representan menos del 3% en todos los niveles estudiados. Dentro de estos agregados se observan granos mayores

de 0,062mm y por lo tanto se han anotado y contabilizado como el mineral dentro del intraclasto (cuarzo en intraclasto, mica en intraclasto, etc.).

Intracuencales carbonáticos (CI)

Se han asignado a esta clase granos micríticos de calcita que presentan formas irregulares redondeadas. Frecuentemente engloban granos de cuarzo, feldespato y otros minerales formando recubrimientos (*coatings*). Estos agregados también presentan inclusiones de minerales de la arcilla. Suelen representar menos del 4% del total de granos, aunque hacia techo de T3 aumentan hasta el 7%.

Muestras de Somosaguas (Afloramientos)								
Tramos	T1	T2		T3		T4	T5	T6
Muestras	N-1	3-3	4-5	N-4-3	N-4-6	6-4	6-5	7-2
Turmalina	34	1	19	39	46	0	30	31
Apatito	19	0	20	52	58	0	41	39
Circón	16	0	15	30	35	2	23	25
Sillimanita	2	0	1	1	2	0	2	1
Andalucita	5	0	0	2	1	0	3	2
Granate	3	0	1	5	8	0	3	0
Epidota	11	0	11	4	10	0	11	6
Estaurolita	0	0	0	0	0	0	0	0
Rutilo	5	0	2	0	2	0	2	2
Hornblenda	0	0	1	0	0	0	0	2
Esfena	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	95	1	70	133	162	2	115	108
% Transparentes	37,4	0,4	24,2	53,2	56,0	0,7	41,8	38,8
% Opacos	14,1	1,5	8,1	10,9	11,5	3,1	9,8	11,5
% Micas	48,5	98,1	67,7	35,9	32,5	96,2	48,4	49,7
% Total densos	0,9	75,4	1,5	0,6	0,5	55,2	0,8	0,7

Muestras de Somosaguas (Sondeos)												
Tramos	T0		T-1		T-2		T-3		T-4		T-5	
Muestras	SN-1-2	SN-2-11	SN-2-6	SN-5-13	SN-3-11	SN-4-12	SN-4-4	SN-5-11	SN-5-8	SN-5-10	SN-5-3	SN-5-6
Turmalina	37	39	12	16	29	22	18	15	0	0	10	4
Apatito	28	31	12	11	18	20	14	9	0	0	8	1
Circón	24	33	14	17	37	34	27	8	0	0	12	7
Sillimanita	5	4	1	4	6	8	4	6	0	1	3	5
Andalucita	10	7	1	2	8	6	4	5	0	1	7	1
Granate	5	6	0	0	6	4	2	2	0	0	1	6
Epidota	17	13	5	3	8	12	2	7	1	0	6	3
Estaurolita	1	2	0	0	0	1	0	3	1	0	2	6
Rutilo	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Hornblenda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Esfena	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Total	127	135	46	53	112	108	71	55	2	2	50	34
% Transparentes	50,6	51,8	15,9	18,1	39,4	37,2	25,4	21,8	0,8	0,4	17,4	11,5
% Opacos	17,3	17,9	6,9	7,8	16,1	15,6	21,7	23,1	4,0	7,0	22,4	24,8
% Micas	32,1	30,3	77,2	74,1	44,5	47,2	52,9	55,1	95,2	92,6	60,2	63,7
% Total densos	0,7	0,6	4,5	7,6	1,1	1,3	1,9	2,2	32,0	28,3	2,3	2,7

Tabla 6.3- Número de granos de minerales densos transparentes sobre un conteo sobre 250-300 granos por muestra en los yacimientos de Somosaguas (afloramientos y sondeos). Los porcentajes de la parte inferior de las tablas indican la cantidad de densos frente al total de la muestra, y las proporciones de transparentes, opacos y micas que hay en la totalidad de la fracción densa.

6.3.1.2-Análisis Modal y Parámetros Petrográficos

Para el análisis de los resultados se han establecido una serie de parámetros e índices que describen la composición petrográfica de las arenas y sus variaciones cuyos valores se expresan en las Tablas 6.4 y 6.5. La composición modal de las arenas se ha representado en los diagramas triangulares propuestos por Pettijohn *et al.* (1972) (QFR); Dickinson *et al.* (1983) (QmFLt); Dickinson (1985) (QmKP); y Arribas *et al.* (2003), que está basado en las categorías de cuarzos definidas por Basu *et al.* (1975) (QmrQmoQp). También se ha utilizado el diagrama rómbico para análisis de procedencias, a partir de cuatro tipos de cuarzo (Qnu, Qu, Qp₂₋₃, Qp_{>3}), definido por Basu *et al.* (1975) y modificado por Tortosa *et al.* (1991) para el Sistema Central.

La composición principal mostrada en el diagrama QFR (Figura 6.5a, Pettijohn *et al.*, 1972) indica que son sedimentos arcósicos, manifestando prevalencia del cuarzo (Q) y del feldespato (F) sobre los fragmentos de roca (R), que nunca suponen más de un 20% de la fracción de tamaño medio analizada. Estos fragmentos de roca son más abundantes en T6 y coinciden con los niveles que presentan los mayores contenidos de feldespatos. Los niveles arenosos con menor cantidad de feldespatos pertenecen al tramo T1, ya que son niveles más enriquecidos en cuarzo (~ 60%). Por lo tanto, se observa una clara tendencia de T1 a T6 de aumento de los granos de feldespatos y fragmentos de roca.

El diagrama QmFLt (Figura 6.5b; Dickinson, 1970) revela una composición del sedimento cuarzo-feldespática relacionada con un ambiente geotectónico transicional entre “*transitional continental*” y “*basement uplift*”, según los campos propuestos por Dickinson *et al.* (1983). Las muestras quedan representadas en el borde QmF y revelan muy poca proporción de fragmentos de rocas lábiles. De T1 a T6 se observa una tendencia muy clara hacia el aumento de los feldespatos. El tipo de ambiente geotectónico obtenido es claramente congruente con la actividad tectónica producida durante el Mioceno medio en el Sistema Central (basamento elevado; Calvo *et al.*, 1989a,b; De Vicente *et al.*, 1996).

El diagrama QmKP (Figura 6.5c; Dickinson, 1985) revela diferencias entre los contenidos en feldespatos de los seis tramos mostrando una tendencia similar a la obtenida en los diagramas anteriores. Así, el contenido medio de feldespatos potásicos aumenta de un 26% en T1 a casi un 30% en los dos últimos tramos (T5 y T6). Los granos de plagioclasa muestran un incremento aún mayor con contenidos medios de 13,1% en T1 que llegan hasta 22,8% en T6 (Tabla 6.4).

El diagrama QmrQmoQp (Figura 6.5d; Basu *et al.*, 1975; Arribas *et al.*, 2003) muestra un aumento continuado de los cuarzos con extinción recta frente a los cuarzos con extinción ondulatoria y los cuarzos policristalinos. Los cuarzos con extinción ondulatoria son más abundantes en T2 que en el resto de tramos, aunque las diferencias solo son realmente significativas en comparación con los tramos más altos de la sucesión, que presentan valores de menos de un 10% de este tipo de cuarzos. Finalmente, los granos de cuarzo policristalinos disminuyen de forma rápida en los dos primeros tramos para estabilizarse posteriormente en torno al 10%. Estas variaciones podrían reflejar pequeñas diferencias en la composición del área fuente.

En el diagrama rómbico Qnu, Qu, Qp₂₋₃, Qp_{>3} (Figura 6.5e-f; Basu *et al.*, 1975; Tortosa *et al.*, 1991) las muestras de Somosaguas caen en el campo de procedencia

plutónica y metamórfica de alto grado, con pequeñas variaciones entre los diferentes tramos.

Para comprobar los cambios en la composición de las areniscas se han establecido una serie de índices (Tabla 6.5). Estos índices indican la madurez del depósito ($Qp + Qm / F + R$; $Qp / F + R$), la presencia de rocas metamórficas en el área fuente (Qmr / Qm ; Qp / Qt) y son sensibles a variaciones climáticas (P / F) (Dickinson, 1970; Basu, 1976; Suttner y Dutta, 1986). El diagrama binario de escala logarítmica cuarzo/feldespatos frente a cuarzo/fragmentos de roca ha sido utilizado para determinar condiciones climáticas y fisiográficas (Weltje *et al.*, 1998). Otro indicador ha sido la relación entre esquisto + pizarra/total de fragmentos de roca lábiles (Lm / Rt).

Tramos	Muestras	Parámetros Petrográficos (Somosaguas)															
		Q	F	R	Qm	F	Lt	Qm	K	P	Qmr	Qmo	Qp	Qnu	Qu	Qp ₂₋₃	Qp _{>3}
T6	7-2	39,3	42,4	18,3	46,7	52,8	0,5	46,9	29,8	23,3	85,7	6,8	7,5	86,8	6,9	6,3	---
	7-1	41,0	41,6	17,4	47,8	51,7	0,5	48,0	29,8	22,2	85,4	7,6	7,0	90,0	8,0	---	2,0
T5	6-6	41,2	40,6	18,2	48,4	51,6	0,0	48,4	30,3	21,3	83,1	6,5	10,4	90,1	7,7	---	2,8
	6-5	41,0	42,3	16,8	47,5	52,5	0,0	47,5	30,8	21,8	81,2	7,8	11,0	82,8	7,9	9,3	---
T4	6-4	40,7	40,4	18,9	48,9	50,5	0,5	49,2	29,0	21,8	79,5	11,9	8,6	80,0	12,0	8,0	---
	6-2	41,8	40,3	17,9	49,1	49,9	1,0	49,6	28,8	21,6	79,9	12,6	7,5	84,7	13,3	---	2,0
T3	N-4.6	42,7	39,1	18,3	49,4	50,1	0,5	49,6	29,3	21,1	78,9	14,5	6,6	82,9	15,2	---	1,9
	N-4.5	45,3	37,5	17,2	51,7	47,1	1,2	52,3	27,7	20,0	76,9	15,6	7,5	80,8	16,4	---	2,8
	N-4.4	47,2	37,8	15,0	51,8	46,7	1,5	52,6	28,4	19,1	75,0	16,8	8,2	76,2	17,1	6,6	---
	N-4.3	46,7	36,4	16,8	53,5	45,0	1,5	54,3	27,5	18,2	74,7	17,7	7,5	78,1	18,5	---	3,4
	N-4.2	49,6	36,1	14,3	55,6	44,1	0,3	55,8	27,1	17,1	72,2	17,5	10,3	75,7	18,4	---	5,9
	N-4.1	48,9	35,9	15,2	55,6	44,2	0,2	55,7	27,0	17,2	72,0	17,5	10,5	76,6	18,6	---	4,8
	4-8	47,2	38,1	14,8	54,3	44,9	0,8	54,7	27,2	18,1	73,1	18,7	8,2	77,3	19,8	---	2,9
	4-7	49,2	36,2	14,6	54,4	44,9	0,8	54,8	27,8	17,4	70,3	20,3	9,4	73,4	21,2	---	5,4
	3-13	47,6	36,3	16,1	54,9	44,2	1,0	55,4	26,9	17,7	72,8	16,9	10,3	77,6	18,0	---	4,4
	4-5	55,3	35,9	8,8	58,5	41,3	0,2	58,6	27,1	14,3	67,3	22,1	10,6	72,0	23,7	---	4,3
T2	3-11	50,3	38,3	11,5	55,2	44,0	0,8	55,7	27,1	17,2	67,6	20,7	11,7	72,0	22,0	---	6,0
	3-9	50,3	38,7	11,1	55,6	43,9	0,5	55,9	28,1	16,1	69,2	19,5	11,3	73,8	20,8	---	5,5
	S-10	50,7	38,2	11,1	55,4	44,3	0,2	55,6	28,6	15,8	67,5	20,9	11,7	72,8	22,5	---	4,7
	S-8	52,2	35,7	12,1	55,7	43,3	1,0	56,3	27,4	16,3	68,6	20,0	11,4	72,0	21,0	---	7,0
T1	N-1	56,1	35,4	8,5	59,1	38,6	2,3	60,5	25,9	13,6	66,5	17,6	15,9	74,0	19,5	---	6,5
	4-1	58,5	34,8	6,7	61,1	38,4	0,5	61,4	25,5	13,1	65,4	18,1	16,5	72,1	20,0	---	7,9
	3-1	57,3	35,0	7,7	59,6	39,9	0,5	59,9	26,7	13,4	67,5	16,9	15,6	73,6	18,4	---	8,0
	S-1	58,9	34,7	6,4	61,7	37,8	0,5	62,0	25,7	12,4	68,1	15,3	16,5	75,8	17,0	---	7,2

Tabla 6.4- Parámetros petrográficos recalculados para las arenas de Somosaguas. Las tipologías de cuarzo Qmr, Qmo, Qp se usan según Arribas *et al.* (2003).

El índice Qmr / Qm muestra una disminución de T1 a T2 y posteriormente aumenta, especialmente a techo del tramo T3 y los siguientes tramos. Los índices Qp / Qt y P / F muestran tendencias contrarias, así mientras que la primera decrece hacia techo de la sucesión (más claro de T1 a T3) la última aumenta en el mismo sentido. Los fragmentos de roca metamórficos de bajo grado (lábiles) expresados respecto al total de fragmentos de roca (Lm / Rt) son muy bajos, aunque más elevados en T1 y parte de T2 que en los tramos superiores.

El índice $Qp + Qm / F + R$ es bajo para todos los niveles, sin embargo se observa una disminución importante de T1 (1,4) a T6 (0,6), que es más marcado en los primeros tramos. El índice $Qp / F + R$ muestra valores extremadamente bajos, pero como el índice anterior experimenta una disminución de base (T1) a techo (T6) de la sucesión, y de nuevo es más clara esta tendencia en los tres primeros tramos. Ambos índices han sido usados para la representación del diagrama de Suttner y Dutta (1986) para el análisis paleoclimático. Finalmente, todos los índices y parámetros usados indican diferencias composicionales entre los 6 niveles del tramo T3 (en la columna Norte) muestreados.

Tramos	Muestras	Índices Petrográficos							
		Qp + Qm/ F + R	Qp/ F + R	Q/F	Q/R	Qmr/Qm	Qp/Qt	P/Ft	Lm/Rt
T6	7-2	0,60	0,05	0,93	2,15	0,93	0,07	0,44	0,03
	7-1	0,70	0,05	0,98	2,36	0,92	0,07	0,43	0,03
T5	6-6	0,70	0,07	1,00	2,26	0,93	0,10	0,41	0,00
	6-5	0,70	0,08	0,94	2,44	0,91	0,11	0,41	0,00
T4	6-4	0,70	0,06	1,01	2,19	0,87	0,09	0,43	0,03
	6-2	0,70	0,05	1,05	2,37	0,86	0,08	0,43	0,06
T3	N-4.6	0,70	0,05	1,10	2,35	0,85	0,07	0,42	0,03
	N-4.5	0,80	0,06	1,22	2,61	0,83	0,08	0,42	0,05
	N-4.4	0,90	0,07	1,22	3,02	0,82	0,08	0,40	0,07
	N-4.3	0,90	0,07	1,29	2,82	0,81	0,08	0,40	0,09
	N-4.2	1,00	0,10	1,34	3,52	0,80	0,10	0,39	0,02
	N-4.1	1,00	0,10	1,35	3,35	0,80	0,11	0,39	0,02
	4-8	0,90	0,07	1,27	3,33	0,80	0,08	0,40	0,05
	4-7	1,00	0,09	1,36	3,49	0,78	0,09	0,39	0,05
	3-13	0,90	0,09	1,31	3,06	0,81	0,10	0,40	0,06
T2	4-5	1,20	0,13	1,52	6,42	0,75	0,11	0,35	0,03
	3-11	1,00	0,12	1,32	4,43	0,77	0,12	0,39	0,05
	3-9	1,10	0,11	1,32	4,70	0,78	0,11	0,36	0,05
	S-10	1,00	0,12	1,36	4,78	0,76	0,12	0,36	0,02
	S-8	1,10	0,12	1,40	4,20	0,77	0,11	0,37	0,04
T1	N-1	1,30	0,20	1,59	6,94	0,79	0,16	0,35	0,28
	4-1	1,40	0,23	1,67	8,96	0,78	0,16	0,34	0,07
	3-1	1,30	0,21	1,64	7,61	0,80	0,16	0,34	0,07
	S-1	1,40	0,24	1,69	9,22	0,82	0,17	0,33	0,07

Tabla 6.5- Valores numéricos de los índices petrográficos aplicados a los datos del conteo de granos en el análisis composicional de las muestras del yacimiento de Somosaguas.

6.3.2- Sedimentos del Yacimiento de Húmera

Comprenden los tramos H1, H2, H3 y H4, aunque las muestras de estos dos últimos tramos tenían pocos minerales detríticos en la fracción evaluada, por su fino tamaño de grano. Se han estudiado 8 muestras de la columna Norte (una por cada nivel y 2 en el nivel HN2-1, una en su base y otra en su techo) y otras 2 de la columna Oeste para comprobar su similitud, ya que no debería haber grandes diferencias composicionales, teniendo en cuenta su cercanía. Tan solo mostramos una figura (Figura 6.4) con algunos tipos de granos ya que el resto son similares a los descritos para el yacimiento de Somosaguas.

6.3.2.1-Tipos de Granos

Extracuencales no carbonáticos (NCE)

Esta categoría incluye los granos más abundantes en este área: cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca, minerales densos y micas.

Cuarzo: en todas las muestras de Húmera hay un claro predominio del cuarzo monocristalino recto (no ondulatorio, 74,2% a 81,3% del total de granos de cuarzo) sobre el ondulatorio (13,0% a 18,9%). Además, los granos de cuarzo monocristalino son claramente superiores a los policristalinos, presentando estos últimos valores más altos en los tramos H3 y H4, contrariamente a lo que se podría esperar de niveles tan finos y por lo tanto más alejados del área fuente (Tabla 6.6). La mayoría de los granos de cuarzo policristalino presentan entre 2 y 5 cristales, aunque también se han observado algunos granos con 10 o más cristales, presentando los cristales cierta orientación preferente, en estos casos. En esta categoría se contabilizan todos los cuarzoes incluidos

en fragmentos de roca granuda (fanerítica) y en intraclastos. En torno a un 7% de los granos de cuarzo presentan inclusiones de micas o minerales densos (principalmente turmalina, apatito y rutilo, aunque también opacos, granates y circones), poco variable en todas las muestras analizadas.

Clases Petrográficas		Yacimientos de Húmera									
		Tramo H1			Tramo H2					Tramo H3	Tramo H4
		HN1-1	HW1-1	HN1-2	HN2-1b	HN2-1t	HN2-2	HN2-3	HW2-3	H3	H4
Qmnu	Cuarzo monocristalino recto	200	188	198	173	190	185	180	180	171	170
Qmu	Cuarzo monocristalino ondulatorio	32	36	41	40	44	45	40	39	30	32
Qp2-3	Cuarzo policristalino (2-3 cristales)	10	7	7	10	4	4	7	9	12	15
Qp>3	Cuarzo policristalino (>3 cristales)	4	4	2	0	5	4	4	2	10	12
Qrpg	Cuarzo en F.R. fanerítica	5	1	1	9	8	9	8	8	9	10
Qrms	Cuarzo en F.R. meta-sedimentaria	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0
Ks	Feldespato potásico (cristal)	77	80	84	73	79	77	82	90	89	93
Kmic	Microclina	5	2	5	0	2	1	4	3	2	1
Krpg	Feldespato potásico en F.R. fanerítica	2	7	13	5	12	8	10	12	6	9
Krms	Feldespato potásico en F.R. meta-sedimentaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Ps	Plagioclasa (cristal)	40	42	46	48	49	51	54	50	48	47
Prpg	Plagioclasa en F.R. fanerítica	8	7	9	2	8	7	4	5	9	10
Bt	Biotita (cristal)	8	10	12	11	12	16	15	8	4	17
Ms	Moscovita (cristal)	2	1	4	3	1	1	0	2	1	5
Btrpg	Biotita en F.R. fanerítica	1	1	1	2	3	1	0	1	0	0
Msprpg	Moscovita en F.R. fanerítica	1	1	0	2	1	1	3	1	0	0
Ch	Chert	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Shf	Filita y Lutita	1	3	1	0	1	0	1	1	1	0
Sch	Esquisto	4	4	3	6	4	4	3	2	2	2
Dm	Minerales densos	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
In	Intraclasto	2	2	3	7	1	1	3	2	2	2
Qnci	Cuarzo en Intraclasto	4	2	1	0	1	0	2	3	3	2
Knci	Feldespato potásico en Intraclasto	6	5	0	0	0	1	2	1	1	0
Pnci	Plagioclasa en Intraclasto	0	1	1	0	0	2	1	1	2	3
Mc	Carbonato (micrítico)	3	7	7	12	8	6	11	10	12	9
Total		417	411	441	404	435	424	434	431	415	441

Tabla 6.6- Datos del conteo de puntos para las muestras de los afloramientos del yacimiento de Húmera (F.R.= Fragmento de Roca).

Feldespatos: en esta categoría se incluyen cristales de feldespato potásico y plagioclasas, así como cristales de éstos englobados en intraclastos y fragmentos de roca fanerítica y sedimentaria (meta-arenitas). En los feldespatos potásicos se han considerado como ortosa los cristales no maclados o aquellos que presentaban maclas simples, mientras que se han asignado a la variedad microclina los que presentaban maclas en enrejado. Los feldespatos potásicos predominan sobre las plagioclasas, y en los primeros son más abundantes las ortosas que las microclinas. Los granos de microclina se mantienen prácticamente constantes a lo largo de la sucesión sedimentaria, en valores inferiores al 2% del total de granos. Los granos de plagioclasa zonada son muy minoritarios en las muestras estudiadas, no superando el 0,8% en ninguna muestra. Las texturas de intercrecimiento (mirmequitas, micropertitas y texturas gráficas) son bastante comunes, llegando a suponer cerca del 10-15% de los granos de feldespato de algunas muestras. Además se observan texturas granofídicas (Figura 6.4b).

Fragmentos de roca: se han considerado en esta categoría todos los granos con dos o más especies minerales, en los que ninguno comprende más del 90% de la sección observada en la lámina delgada. Los fragmentos de roca con cristales menores a los 0,062 mm se han considerado “láviles” (L) de acuerdo con el criterio de Dickinson (1970), siendo normalmente fragmentos afaníticos de filitas, pizarras y esquistos. Existen muy diferentes tipos dentro de éstos en relación con la clasificación propuesta por Garzanti y Vezzoli (2003, ver ejemplos en Figura 6.4). También los fragmentos de chert se han incluido en este grupo (Dickinson, 1970; Dickinson *et al.*, 1983; Zuffa, 1980). Los fragmentos de roca formados por cristales mayores de 0,062 mm (faneríticas, R) se han anotado como los minerales que los constituyen, quedando así registrado tanto el fragmento de roca como el mineral concreto sobre el que ha caído la

cruceta. También se incluyen en esta categoría los fragmentos de rocas meta-sedimentarias (Lms). Los fragmentos de roca granítica y gnéisica presentan un claro predominio sobre el resto de tipos de fragmentos de roca. Se observa un ligero aumento de los fragmentos de roca fanerítica de base a techo de la sucesión (H1 a H4) estudiada en Húmera. Estos fragmentos muestran pocos cristales (generalmente 2 a 5). Los fragmentos de rocas metamórficas de grado bajo-medio, representan menos del 3% del total de granos, y disminuyen hacia techo de la sucesión. Los fragmentos de rocas meta-sedimentarias aparecen en muy bajas proporciones estando ausentes en varias muestras.

Micas: se incluyen en este grupo las partículas micáceas que forman cristales individuales de biotita o moscovita (y sus posibles alteraciones, que serán estudiadas en detalle en el siguiente capítulo) y cristales de estos mismos minerales presentes en fragmentos de rocas faneríticas. Están presentes en todas las muestras, aunque presentan sus mayores concentraciones en el tramo T4, como era esperable por tratarse de un tramo similar a las arenas micáceas de Somosaguas. En fracciones más finas del sedimento son mucho más numerosas que en la fracción escogida para el estudio petrográfico. Hay un claro predominio de la biotita sobre la moscovita.

Minerales densos: en este grupo se incluyen todos los demás minerales que presentan una densidad mayor a $2,83 \text{ g/cm}^3$. Se han tenido en cuenta tanto los densos que aparecen incluidos en otros minerales (observados durante el conteo de ligeros en lámina delgada) como los que están en cristales individuales (separados mediante el uso del politungstato y estudiados en lámina delgada). Los separados manualmente durante el triado son de las mismas especies minerales y por lo tanto no han aportado datos adicionales. Como se observa en la Tabla 6.7 los minerales densos presentan contenidos variables, siendo escasos en el tramo H2 y abundantes en H3 y H4 (principalmente debido al gran contenido en micas), con valores en torno al 8% en el tramo H1.

Se han diferenciado tres grupos de minerales densos: los opacos (no diferenciados mediante estudios de microscopio de luz reflejada), los transparentes (contabilizados en sus diferentes especies minerales) y las micas (descritas en el punto anterior). Su asociación está principalmente formada por transparentes (45-72% menos en H4), opacos (entre un 19 y un 28% menos en H4) y micas (entre 4 y 18% en los tramos inferiores y un 90% en H4, con valores intermedios en H3). Al igual que en el yacimiento de Somosaguas se observa cierta disminución de los opacos y aumento de los minerales densos transparentes según se asciende en los tramos arenosos (H1 y H2) ya que los tramos más pelíticos tienen un comportamiento diferente causado por la gran concentración de micas.

Al contrario que en Somosaguas donde tres minerales densos destacan claramente sobre el resto, en este yacimiento se observa una asociación de minerales transparentes que presenta hasta seis minerales abundantes en todos los niveles, aunque van variando sus contenidos en la vertical (turmalina, apatito, circón, epidota, andalucita y granate). Otros minerales presentes en menor proporción son sillimanita, estaurolita, hornblenda, esfena y rutilo (Tabla 6.7). Se observa que de base a techo de la secuencia disminuyen ligeramente la sillimanita, andalucita, granate y estaurolita, y aumentan turmalina y apatito, de forma similar a lo observado en el yacimiento de Somosaguas, aunque con concentraciones en general mayores que en aquel yacimiento.

En la sucesión sedimentaria de Húmera la particularidad del tramo H4 lo asemeja a los niveles de arenas micáceas de Somosaguas, y el tramo H3 parece tener un comportamiento diferente al resto de niveles evaluados en este área. Comparativamente parece que hay más similitudes entre los niveles de Húmera y los tramos intermedios de Somosaguas (techo de los sondeos y T1 en los afloramientos), aunque Húmera está más enriquecida en minerales densos transparentes. El tramo H1 de Húmera es uno de los que presenta mayor proporción de minerales densos, en torno al 12%, en todo el área de estudio, lo que implica mayores concentraciones de opacos y transparentes.

Muestras de Húmera									
Tramos	H1		H2					H3	H4
Muestras	HN1-1	HN1-2	HN2-1B	HN2-1T	HN2-2	HN2-3	HW2-3	HN3	HN4
Turmalina	19	13	25	28	22	30	44	20	2
Apatito	13	10	12	18	19	23	31	18	1
Circón	15	20	18	21	18	24	26	19	2
Sillimanita	12	11	13	14	12	12	7	2	0
Andalucita	16	11	17	11	11	12	10	2	0
Granate	13	17	14	12	16	9	9	0	0
Epidota	28	34	31	27	36	28	22	3	0
Estaurolita	9	7	5	3	2	2	0	0	0
Rutilo	2	1	3	4	5	5	3	1	0
Hornblenda	0	0	0	1	1	3	4	3	0
Esfena	2	1	0	0	0	0	0	0	0
Total	129	125	138	139	142	148	146	68	5
% Transparentes	57,3	61,0	67,6	67,8	69,3	71,5	72,6	44,7	2,4
% Opacos	24,8	22,4	28,3	27,0	21,0	19,4	19,1	18,9	6,9
% Micas	17,9	16,6	4,1	5,2	9,7	9,1	8,3	36,4	90,7
% Total densos	7,7	8,5	0,8	1,2	1,7	1,3	1,4	20,1	72,5

Tabla 6.7- Número de granos de minerales densos transparentes sobre un conteo sobre 200-250 granos por muestra. Los porcentajes de la parte inferior indican la cantidad de densos frente al total de la muestra en las fracciones evaluadas, y las proporciones de transparentes, opacos y micas que hay en la totalidad de la fracción densa separada.

Extracuencales carbonáticos (CE)

Al igual que en los sedimentos de Somosaguas, no se han observado granos de esta categoría en los depósitos del yacimiento de Húmera.

Intracuencales no carbonáticos (NCI)

Esta categoría incluye pequeños agregados limo-arcillosos (intraclastos) que engloban granos de cuarzo, feldespatos y micas. Estos granos representan menos del 3% en todos los niveles estudiados. Dentro de estos agregados se observan granos mayores de 0,062 mm y por lo tanto se han anotado y contabilizado como el mineral dentro del intraclasto (cuarzo en intraclasto, mica en intraclasto, etc.).

Intracuencales carbonáticos (CI)

Se han asignado a esta clase granos micríticos de calcita que presentan formas irregulares con los bordes redondeados. Frecuentemente engloban granos de cuarzo, feldespato y otros minerales formando recubrimientos (*coatings*). Estos agregados también presentan inclusiones de minerales de la arcilla. Su proporción se mantiene bastante constante en toda la sucesión de Húmera.

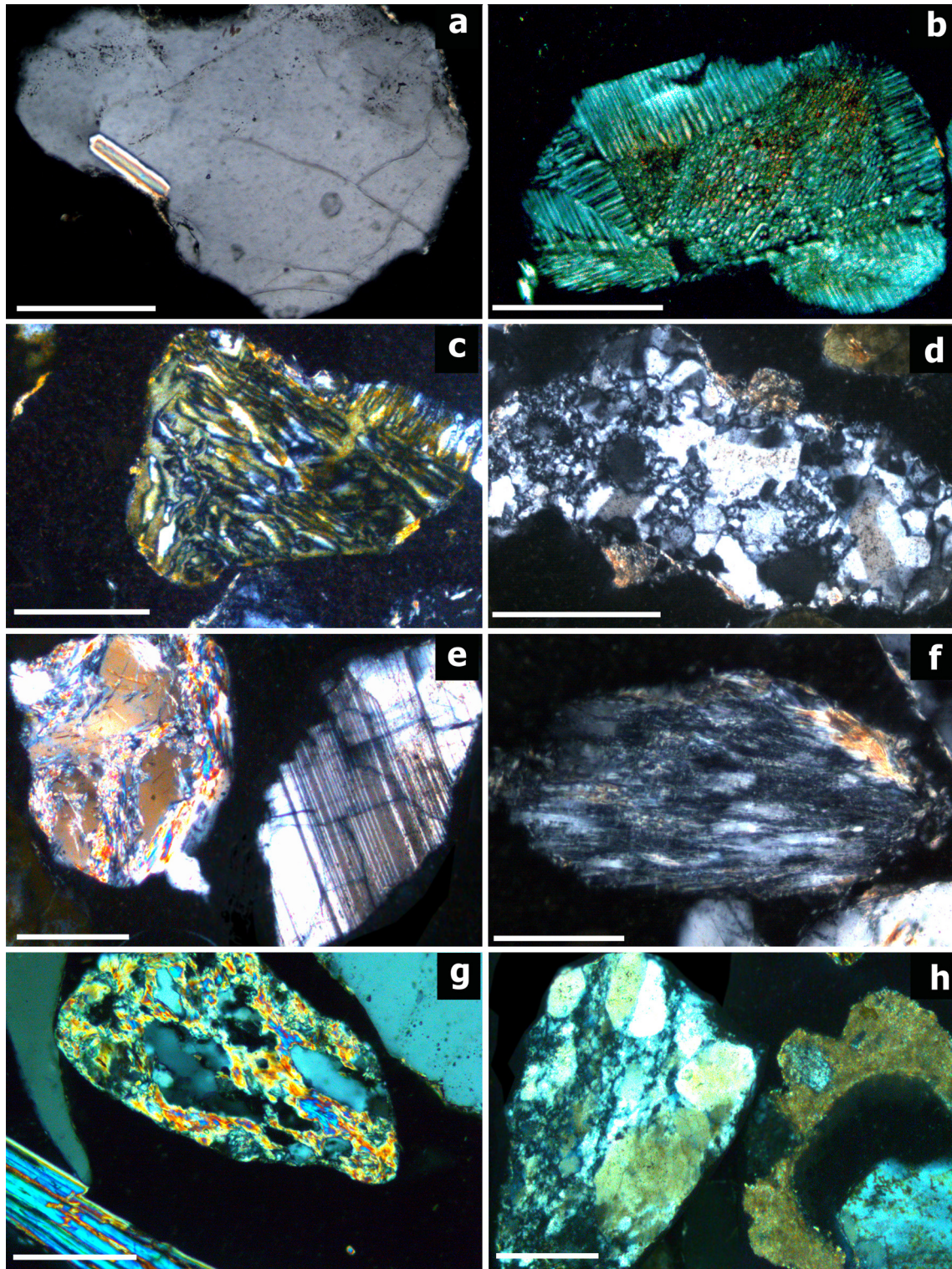


Figura 6.4- Diversos tipos de granos de los sedimentos del yacimiento de Húmera: a) cuarzo monocristalino con una inclusión de circón que ha generado un halo a su alrededor; b) textura granofídica y micropertitas en un grano de feldespato; c) texturas de exsolución entre feldespatos y cuarzo; d) fragmento de roca meta-sedimentaria con una variabilidad extrema de los tamaños de sus cristales (principalmente cuarzós); e) granos de cuarzo con crecimiento de finos cristales de filosilicatos al rededor y un grano de plagioclasa que muestra maclas polisintéticas; f) fragmento de roca metamórfica de bajo grado; g) fragmento de roca metasamítica; h) fragmento de roca meta-sedimentaria que muestra una gran variabilidad del tamaño de sus cristales junto con un grano carbonático que incluye arcillas y granos de cuarzo. La barra de escala mide 0,25 mm en todas las imágenes.

6.3.2.2-Análisis Modal y Parámetros Petrográficos

Para el análisis de los resultados se han establecido una serie de parámetros e índices que describen la composición petrográfica de las arenas y sus variaciones, cuyos valores se expresan en las Tablas 6.8 y 6.9. La composición modal de las arenas se ha representado en los diagramas triangulares propuestos por Pettijohn *et al.* (1972) (QFR); Dickinson *et al.* (1983) (QmFLt); Dickinson (1985) (QmKP); y Arribas *et al.* (2003), que está basado en las categorías de cuarzos definidas por Basu *et al.* (1975) (QmrQmoQp) (Tabla 6.8). También se ha utilizado el diagrama rómbico para análisis de procedencias, a partir de cuatro tipos de cuarzo (Qnu, Qu, Qp₂₋₃, Qp_{>3}), definido por Basu *et al.* (1975) y modificado por Tortosa *et al.* (1991) para el Sistema Central.

La composición principal mostrada en el diagrama QFR (Figura 6.5a, Pettijohn *et al.*, 1972) indica que son sedimentos arcósicos, manifestando prevalencia del cuarzo (Q) y del feldespato (F) sobre los fragmentos de roca (R), que nunca suponen más de un 10% de la fracción de tamaño medio analizada. Estos fragmentos de roca son más abundantes en los niveles que también presentan los mayores contenidos de feldespatos. Los niveles arenosos con menor cantidad de feldespatos pertenecen al tramo H1, ya que son niveles más enriquecidos en cuarzo (~ 63%). Por lo tanto, se observa una tendencia de H1 a H4 de aumento de los granos de feldespatos y fragmentos de roca a costa de los granos de cuarzo.

El diagrama QmFLt (Figura 6.5b; Dickinson, 1970) revela una composición del sedimento cuarzo-feldespática, relacionada con el ambiente geotectónico definido como “*transitional continental*”, según los campos propuestos por Dickinson *et al.* (1983). Las muestras quedan representadas en el borde QmF y manifiestan muy baja proporción de fragmentos de rocas lábiles. De H1 a H4 se observa una tendencia muy clara hacia el aumento de los feldespatos y disminución de los fragmentos de roca lábiles y los granos de cuarzo.

El diagrama QmKP (Figura 6.5c; Dickinson, 1985) revela diferencias entre los contenidos en feldespatos de los cuatro tramos mostrando una tendencia similar a la obtenida en los diagramas anteriores, aunque algo menos destacable. Es más claro el aumento de las plagioclasas que el de los granos de feldespato potásico (Tabla 6.8).

El diagrama QmrQmoQp (Figura 6.5d; Basu *et al.*, 1975; Arribas *et al.*, 2003) muestra una disminución de los granos de cuarzo con extinción recta frente a los cuarzoes con extinción ondulatoria y los cuarzoes policristalinos. Los cuarzoes con extinción ondulatoria aumentan hasta la parte media del tramo H2 para disminuir posteriormente hasta H4, mientras que los cuarzoes policristalinos tienen la tendencia contraria disminuyendo hasta la mitad del tramo H2 para volver a crecer de forma notable hasta H4. Estas variaciones podrían reflejar variaciones en la composición del área fuente, aunque son mucho menos claras que las observadas en la secuencia de Somosaguas, con la que comparten valores similares al tramo T3.

En el diagrama rómbico Qnu, Qu, Qp₂₋₃, Qp_{>3} (Figura 6.5e-f; Basu *et al.*, 1975; Tortosa *et al.*, 1991) las muestras de Húmera quedan representadas en el campo de procedencia plutónica (granitos) y metamórfica de medio-alto grado, con pequeñas variaciones entre los diferentes tramos, que en general presentan un gran parecido a los tramos inferiores de los afloramientos del yacimiento de Somosaguas.

Para comprobar los cambios en la composición de las areniscas se han establecido una serie de índices (Tabla 6.9). Estos índices indican la madurez del depósito ($Qp + Qm / F + R$; $Qp / F + R$), la presencia de rocas metamórficas en el área fuente (Qmr / Qm ; Qp / Qt) y son sensibles a variaciones climáticas (P / F) (Dickinson, 1970; Basu, 1976; Suttner y Dutta, 1986). El diagrama binario de escala logarítmica Q / F vs. Q / R (cuarzo/feldespato frente cuarzo/fragmentos de roca) ha sido utilizado para determinar condiciones climáticas y fisiográficas (Weltje *et al.*, 1998). Otro indicador ha sido la relación entre esquisto + pizarra/total de fragmentos de roca lábiles (Lm / Rt).

Tramos Muestras		Parámetros Petrográficos (Húmera)													
		Q	F	R	Qm	F	Lt	Qm	K	P	Qmr	Qmo	Qp	Qnu	Qu
H4	H4	57,1	35,0	7,9	59,1	40,2	0,7	59,5	25,7	14,8	74,2	14,0	11,8	73,4	21,2
H3	H3	57,2	35,6	7,2	59,6	39,6	0,8	60,1	24,9	15,0	76,7	13,5	9,9	72,0	22,0
	HW2-3	56,9	35,4	7,7	59,5	39,8	0,7	59,9	26,2	13,9	78,3	17,0	4,8	72,8	22,5
	HN2-3	57,8	35,0	7,3	60,0	39,1	1,0	60,6	24,6	14,8	77,9	17,3	4,8	73,8	20,8
H2	HN2-2	59,9	32,5	7,6	62,1	36,9	1,0	62,7	22,1	15,2	77,7	18,9	3,4	72,0	21,0
	HN2-1T	59,1	31,6	9,2	62,0	36,8	1,2	62,8	23,1	14,1	78,2	18,1	3,7	72,0	23,7
	HN2-1B	60,1	32,6	7,3	63,5	34,9	1,6	64,5	21,6	13,9	77,6	17,9	4,5	74,0	19,5
	HN1-2	60,2	32,8	7,0	60,8	38,3	1,0	61,4	24,9	13,7	79,8	16,5	3,7	72,1	20,0
H1	HW1-1	61,4	32,4	6,3	61,2	37,0	1,8	62,3	24,6	13,1	80,0	15,3	4,7	73,6	18,4
	HN1-1	63,2	31,2	5,6	63,9	34,6	1,5	64,9	22,9	12,2	81,3	13,0	5,7	75,8	17,0

Tabla 6.8- Parámetros petrográficos recalculados para las arenas del yacimiento de Húmera. Las tipologías de cuarzo Qmr, Qmo, Qp se usan según Arribas *et al.* (2003).

El índice Qmr / Qm muestra una disminución de H1 a la parte media de H2 y posteriormente aumenta hasta H4. El índice Qp / Qt muestra una tendencia similar a la descrita, aunque con variaciones menos importantes, con la excepción del tramo H4. El índice P / F muestra la tendencia contraria, así aumenta hasta la parte media de H2 y posteriormente disminuye hasta el techo de la sucesión estudiada.

Los fragmentos de roca lábiles expresados respecto al total de fragmentos de roca (Lm / Rt) son en general bajos, aunque se observa una disminución según se asciende en la sucesión sedimentaria de Húmera. El índice $Qp + Qm / F + R$ es bajo para todos los niveles, sin embargo se observa una disminución constante hacia techo de la secuencia. El índice $Qp / F + R$ muestra valores muy bajos, observándose un ligero aumento hacia techo, que es más claro en los tramos H3 y H4.

Tramos Muestras		Índices Petrográficos							
		$Qp + Qm / F + R$	$Qp / F + R$	Q / F	Q / R	Qmr / Qm	Qp / Qt	P / Ft	Lm / Rt
H4	H4	1,30	0,16	1,60	7,00	0,84	0,12	0,37	0,06
H3	H3	1,30	0,13	1,59	8,07	0,85	0,10	0,38	0,11
	HW2-3	1,30	0,06	1,61	7,52	0,82	0,05	0,35	0,10
	HN2-3	1,40	0,07	1,63	8,03	0,82	0,05	0,38	0,14
H2	HN-2-2	1,50	0,05	1,80	7,93	0,80	0,03	0,41	0,13
	HN2-1T	1,40	0,05	1,88	6,42	0,81	0,04	0,38	0,13
	HN2-1B	1,50	0,07	1,84	8,26	0,81	0,04	0,39	0,22
	HN1-2	1,50	0,05	1,83	8,59	0,83	0,04	0,35	0,14
H1	HW1-1	1,60	0,07	1,82	9,88	0,84	0,05	0,35	0,29
	HN1-1	1,70	0,10	1,95	10,87	0,86	0,06	0,35	0,22

Tabla 6.9- Valores numéricos de los índices petrográficos aplicados a los datos del conteo de puntos en lámina delgada para las muestras de arenas del yacimiento de Húmera.

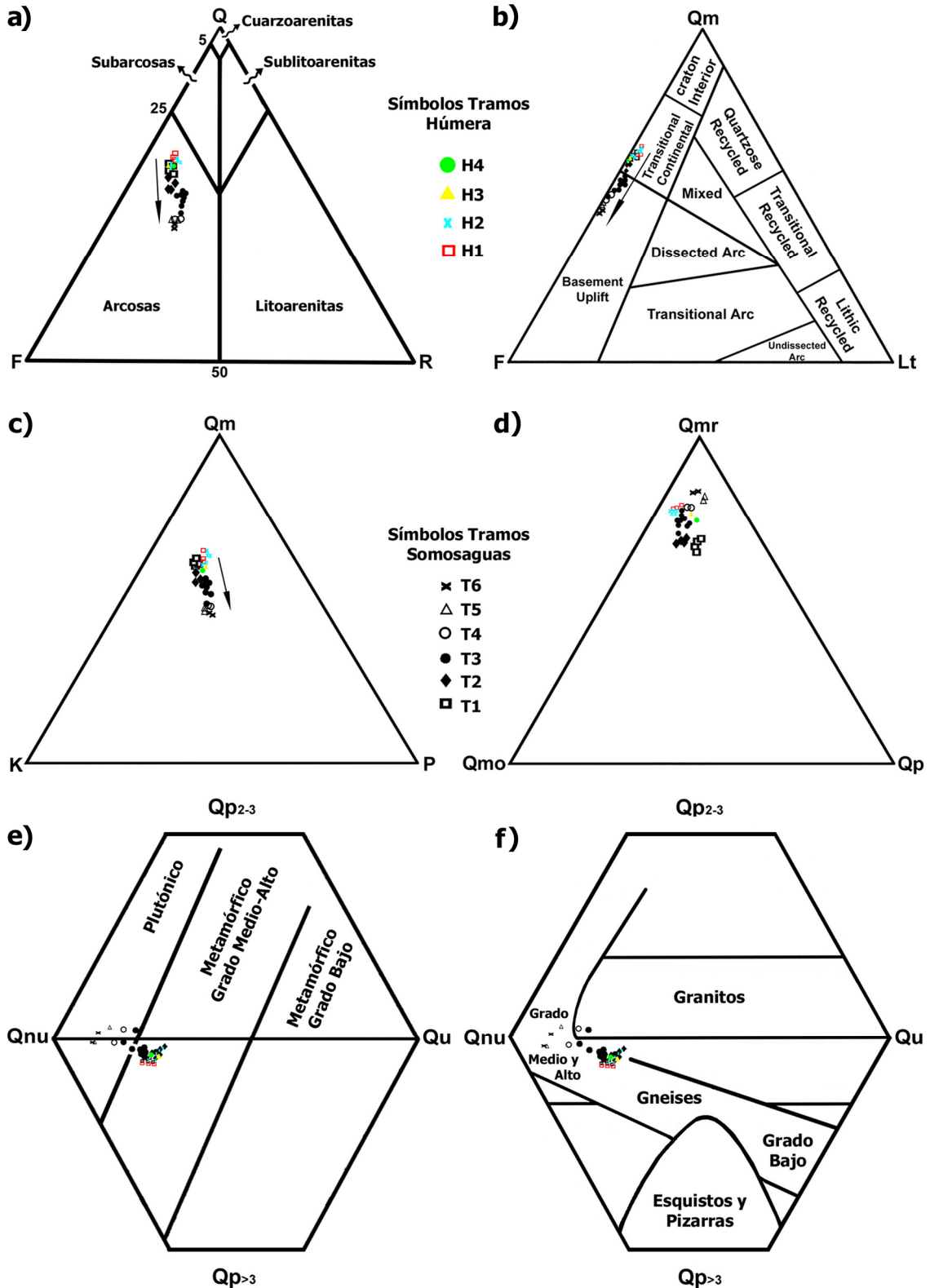


Figura 6.5- Diferentes representaciones gráficas de la composición de las arenas de Somosaguas y Húmera: a) diagrama QFR (Pettijohn *et al.*, 1972); b) diagrama QmFLt (Dickinson, 1970); c) diagrama QmKP (Dickinson, 1985); d) diagrama QmrQmoQp (Basu *et al.*, 1975; Arribas *et al.*, 2003); e-f) diagramas rmbicos para la discriminación de la procedencia según Basu *et al.* (1975) y Tortosa *et al.* (1991), respectivamente.

6.4- *Discusión y Conclusiones*

6.4.1- *Análisis de la Madurez Mineralógica*

Los datos obtenidos del análisis composicional de la fracción ligera de las arenas de los yacimientos de Somosaguas y Húmera muestran que hay un aumento de los granos de feldespatos, y en especial de los granos de plagioclasa, según se asciende en la sucesión sedimentaria. Este aumento de los minerales ligeros más inestables indica una disminución de la madurez mineralógica (Pettijohn, 1957) de estos sedimentos a lo largo de la secuencia estudiada. Por otra parte, aumentan también los fragmentos de roca en el mismo sentido, aunque este aumento se debe al aumento de los fragmentos de roca granuda, ya que los lábiles son muy poco abundantes y disminuyen aún más sus proporciones a lo largo de la secuencia. Esta tendencia sería igualmente indicativa de un aumento de la inmadurez mineralógica.

En cuanto a las asociaciones de minerales densos y sus variaciones, no se observan tendencias claras. Lo primero que destaca es el bajo número de minerales densos transparentes de los niveles de arenas micáceas, que genera valores del índice ZTR muy extremos, o muy bajos (cerca de 0%) o muy altos (cerca de 100%). Por esta razón estos niveles no son significativos en la interpretación de este índice. Por otra parte, el resto de los niveles muestran valores del índice con una amplia dispersión, entre 27 y 63%, aunque son mayoría los valores en torno al 40-50%. Sin embargo, no se observan variaciones claras en un determinado sentido, y parece que las diferencias responden más a pequeños cambios en la procedencia y el área fuente que a variaciones de la madurez mineralógica producida por el transporte (Hubert, 1962).

6.4.2- *Análisis de la Procedencia*

La composición media de las arenas de los yacimientos de Somosaguas y Húmera, considerando el enriquecimiento en cuarzo y la reducción en fragmentos de roca que se produce durante el transporte desde el área fuente, es semejante a las arenas procedentes de áreas mixtas plutónico-gnéisicas del Sistema Central, caracterizadas por Tortosa *et al.* (1988, 1989). De forma general, se observa que las muestras de Húmera presentan una tendencia similar a los tramos inferiores de los afloramientos de Somosaguas y los niveles situados a techo de los sondeos de este yacimiento, por lo que de aquí en adelante se tratarán como una única secuencia, indicando en su caso alguna diferencia importante entre ambos yacimientos. La observación de este parecido parece lógica dado que las cotas a las que están los materiales de Húmera son similares a los de los tramos T-1 a T1, hay poca distancia entre ambas zonas, y los estratos sedimentarios son prácticamente horizontales.

Comparando nuestros datos con los obtenidos por Palomares y Arribas (1993) para diferentes áreas fuente con mezcla de litologías, se observa que son semejantes a aquellas que indican una mezcla de granitos (aproximadamente 60%) y gneises (aproximadamente 40%), aunque con cierta influencia de materiales metamórficos de grado bajo y medio, principalmente en los niveles inferiores de la sucesión estudiada. Así, el índice Lm/Rt muestra una disminución constante entre los niveles a muro de la sucesión y los situados a techo de la misma. Por otra parte, la presencia en el área de estudio de fragmentos de roca con cuarzos y micas orientados y cuarzos policristalinos

inestables (Young, 1976), con más de 10 cristales, refuerzan la idea de aportes metamórficos de grado bajo. El aumento de minerales densos transparentes y disminución de los opacos podrían reflejar una mayor influencia de litologías metamórficas de grado bajo a base de la sucesión sedimentaria que hacia su techo. También concuerdan con esta posibilidad las asociaciones de minerales densos transparentes en los que se observa mayores concentraciones de granate y estauroilita a base de las sucesiones que hacia techo, de forma inversa al triplete turmalina, apatito y circón, aunque hay pequeñas variaciones internas en esta tendencia debidas, principalmente, a las litologías de arenas micáceas.

En los sedimentos analizados, en general, el cuarzo monocristalino con extinción recta prevalece sobre el resto de tipologías de cuarzos con rangos porcentuales de $Q_{nu}/Q_u/Q_{p2-3}/Q_{p>3} = 68-85/6,5-22/4,2-10,1/0,7-7,4$ para Somosaguas y de $74,2-81,3/13,0-18,9/1,6-6,6/0,0-5,2$ para Húmera. Estos rangos son concordantes con procedencia granítico-gnéisica (Basu *et al.*, 1975; Tortosa *et al.*, 1991). Sin embargo, son rangos muy amplios y es importante observar que la tendencia general es al aumento de cuarzos monocristalinos no ondulatorios hacia techo de la sucesión por lo que aumentaría el aporte granítico a costa del gnéisico. Tortosa *et al.* (1991) indican que la diferenciación entre el mayor aporte de fuentes graníticas o gnéisicas es complicado ya que esto depende de las características concretas de cada plutón. La representación de las muestras en el diagrama rómbico de Basu *et al.* (1975) indica que los sedimentos de Somosaguas y Húmera representan procedencias granítico-gnéisicas, pero se observa una ligera tendencia hacia mayor aporte granítico hacia techo de la sucesión (Figura 6.5e-f). Entre los cuarzos policristalinos prevalecen aquellos que tienen entre 2 y 5 cristales, al igual que la mayoría de los fragmentos de roca, lo que es coherente con procedencias principalmente graníticas. Sin embargo, los feldespatos potásicos son más abundantes que las plagioclasas, siendo más parecido a lo esperable para procedencias desde áreas gnéisicas (Palomares y Arribas, 1993). La bajísima proporción de plagioclasas zonadas observada es coherente con esta última posibilidad, aunque los abundantes feldespatos con muy diversos tipos de texturas de exsolución e intercrecimiento apoyan la idea de áreas fuente graníticas (Tostosa *et al.*, 1989). El índice Q_p/Q_t tiene una variación con dos ciclos, primero disminuye (de H1 hasta la parte media de H2) y aumenta (parte media de H2 a T1), y posteriormente vuelve a disminuir hasta el tramo T2, para finalmente experimentar un leve aumento hasta el tramo T6. Estas variaciones podrían relacionarse con una mayor contribución de rocas metamórficas de grado bajo en los tramos más basales de la sucesión estudiada. Este hecho podría explicarse por la erosión de coberteras metamórficas de poca potencia que disminuyeran su aportación al conjunto de la mezcla de sedimentos que llegaba al área de estudio. Otros indicadores como la relación Q_{mr}/Q_m indican tendencias similares, con la parte media del tramo H2, base de T1 y T2 como puntos máximos o mínimos de las variaciones observadas. Por lo tanto su interpretación también apoya la idea de mayores aportes metamórficos de grado bajo en los tramos más basales. La relación P/F , utilizada por diversos autores como indicador de procedencia (Dickinson, 1970; Ingersoll, 1978), muestra la tendencia inversa a los dos índices anteriores, por lo que de nuevo apoya el hecho de una mayor contribución de los granitos y gneises en detrimento de los materiales metamórficos de grado bajo. Por otra parte, la observación de fragmentos de roca metamórfica de bajo y medio grado, con diversos grados metamórficos tanto de metapelitas como de metasamitas, indicaría la existencia de una zonación metamórfica en el área fuente, lo que es congruente con la geología del

Sistema Central, donde se ha producido metamorfismo regional y también de contacto, derivándose varias fases con diversos grados metamórficos.

Los datos procedentes de las inclusiones en granos de cuarzo proporcionan información adicional sobre la procedencia. La presencia, en todos los niveles estudiados, de cuarzos con inclusiones de micas es indicativa de áreas fuente con influencia metamórfica (esquistos y gneises principalmente, Tortosa *et al.*, 1988), mientras que los granos de cuarzo con agujas de rutilo sugieren facies granulíticas en el área fuente (Mason, 1990; Di Giulio *et al.*, 1999). La presencia de granos de mica blanca (principalmente moscovita y fengita) indica procedencia granítica, esencialmente de granitoides peraluminicos (Di Giulio *et al.*, 1999). Este último hecho puede indicar que ha habido un mayor aporte de este tipo de fuentes durante el depósito de los sedimentos del tramo T3, donde se han contabilizado igual cantidad de micas blancas que negras (en el resto de tramos prevalece de forma clara la mica negra). Los fragmentos de roca son claros indicadores de la procedencia (Mack, 1981), y en este caso, indican un área fuente de composición mixta, ya que se han obtenido fragmentos de roca lábiles (esquistos, filitas, pizarras, etc.), faneríticos (granitos y gneises) y también fragmentos de roca meta-sedimentaria. Pero como diversos autores han indicado (Palomares y Arribas, 1993; Le Pera y Arribas, 2004), la abundancia de estos fragmentos de roca no está directamente relacionado con su abundancia en el área fuente. Dado que cada litología tiene una capacidad propia para disgregarse en sus cristales y generar arenas (*"Sand Generation Index"*; Palomares y Arribas, 1993; Arribas *et al.*, 2000; Arribas y Tortosa, 2003) cada una tendrá proporciones diferentes en el área de sedimentación, independientemente de su porcentaje en el área fuente, aunque sus variaciones internas sí pueden dar idea de variaciones en los aportes desde el área fuente. También se han observado granos de cuarzo biterminados y abundante proporción de turmalina que podrían ser indicadores de zonas pegmatíticas en el área fuente.

La litología del área fuente está claramente influenciada por el tipo de contexto geotectónico en el que se ha originado (Dickinson, 1985, 1988). Los datos del análisis composicional indican que los sedimentos del área de Somosaguas-Húmera quedan representados en zonas del diagrama QmFLt (Figura 6.5b) indicativas de contextos geotectónicos típicos de "transición continental" y "basamento elevado" (*"transitional continental"* y *"basement uplift"*, respectivamente; Dickinson *et al.*, 1983), con cierta tendencia hacia este segundo campo hacia techo de la sucesión. Estas situaciones intermedias fueron identificadas por Mack (1984), quién relacionó la presencia de fragmentos de roca cuarzo-feldespáticas, como las observadas en el área de estudio, con áreas fuente enriquecidas en gneises y granitos, con importantes procesos tectónicos de elevación de las montañas (*"Basement uplift"*) y el subsiguiente proceso de erosión. De acuerdo con Ingersoll y Suczek (1979) el predominio de cuarzo monocristalino, feldespatos y micas, sugiere procedencias graníticas o granodioríticas en ambientes de basamento elevado, con menores aportes de rocas meta-sedimentarias de grado bajo-alto. La procedencia inferida es coherente con el contexto geológico regional, dado que, según diversos autores (Álvaro *et al.*, 1979; De Vicente *et al.*, 1996a), durante el Aragoniense medio (momento de formación de los yacimientos estudiados) la orogenia Alpina tuvo una fase muy activa de elevación del Sistema Central, con procesos sísmicos asociados, lo que explica los frecuentes flujos gravitacionales en un ambiente relativamente árido.

La importancia de los procesos de reciclado en la génesis de materiales detríticos (sedimentoclasticos en terminología de Arribas y Tortosa, 2003) ha sido resaltado por diversos autores (Blatt y Jones, 1975; Ingersoll, 1983; Garrels, 1986) y diversos criterios petrográficos para la diferenciación de sedimentos reciclados han sido propuestos en trabajos sobre esta temática (Folk, 1974; Zuffa, 1987; Arribas *et al.*, 1990; Arribas y Tortosa, 2003). Así, la presencia de rocas meta-sedimentarias o granos de cuarzo muy idiomorfos (algunos biterminados) junto con otros claramente alotriomorfos son indicadores de procesos de reciclado. Sin embargo, no se han observado cementos sintaxiales u otros indicadores más definitorios, por lo que creemos que el proceso más importante ha debido ser el retrabajamiento en varios ciclos de los sedimentos procedentes del área fuente. Como se ha comentado en el capítulo anterior, la presencia de cuarzos con golfos de corrosión, o como hemos visto en este capítulo, de granos de carbonatos intracuencales redondeados en sus bordes, son indicativos de estos procesos de retrabajamiento, que son comunes en áreas tectónicamente activas como el área de estudio y el Sistema Central durante el Aragoniense medio. Esta actividad tectónica constante no permite el desarrollo de potentes series edáficas (en climas con pocas precipitaciones) por la rapidez con la que se suceden los procesos de erosión, transporte y sedimentación en un nuevo depósito temporal hasta su llegada a niveles de base locales o el nivel regional de la cuenca sedimentaria, y así, los granos detríticos pueden tener grados muy diferentes de alteración y características como los golfos de corrosión. El origen de los carbonatos micríticos que envuelven granos detríticos se asocia a la formación de calcretas laminares más o menos incipientes (Sanz *et al.*, 1995) que han sido posteriormente erosionadas y retrabajadas (Gómez-Gras y Alonso-Zarza, 2003) en climas relativamente áridos. Los cantos blandos observados en los sedimentos del área de estudio son también indicativos de estos procesos de retrabajamiento en abanicos aluviales de ambientes semiáridos.

Finalmente, los diferentes índices utilizados en este capítulo indican diferencias claras entre los seis niveles internos del tramo T3 de Somosaguas, confirmando las observaciones previas (Élez, 2005; Fesharaki, 2005; Hernández Fernández *et al.*, 2006), que permiten deducir un origen multiepisódico para este tramo con el registro de diferentes pulsos sedimentarios. De igual forma, y a pesar de su cercanía, se han observado algunas diferencias significativas entre los tramos de las columnas Norte y Oeste del yacimiento de Húmera, que en algunos casos pueden deberse a simples variaciones laterales en un mismo medio sedimentario, y en otras ocasiones pueden indicar que las muestras han sido recogidas a alturas ligeramente diferentes en el mismo tramo y que, dadas las diferencias composicionales observadas, pertenecerían a dos procesos deposicionales diferentes y ligeramente distanciados en el tiempo.

6.4.3- Inferencia de las Características Paleoclimáticas

Según las observaciones de Fesharaki (2005) la alteración física y química en el área de Somosaguas parece haber sido moderada, con tendencia a una disminución de la alteración química hacia techo de la sucesión sedimentaria (en relación con el diagrama de alteración físico-química propuesto por Wilson, 1969). También se realizaron en este mismo yacimiento estudios isotópicos, como se ha indicado en el capítulo 3, que indicaban una caída de las temperaturas de unos 10°C en el intervalo entre el depósito de T1 y T3 (Hernández Fernández *et al.*, 2006; Domingo *et al.*, 2009). Tanto estos trabajos como el de Carrasco *et al.* (2008) indicaron ambientes semiáridos con tendencia a la aridez y a la disminución de la estacionalidad hídrica.

De igual forma que en el resto de capítulos de esta Tesis, en los siguientes párrafos mostraremos las tendencias climáticas que se pueden inferir a partir de las características, en este caso composicionales, de los depósitos sedimentarios de Somosaguas y Húmera (Tablas 6.5 y 6.9 y Figura 6.6). El índice $Qp/F+R$ toma valores muy bajos (entre 0,05 y 0,24 en Somosaguas, y entre 0,05 y 0,16 en Húmera) típicos de climas secos y fríos, y dado que su tendencia es a disminuir hacia techo de la sucesión indicaría una mayor aridez y temperaturas más bajas. Por otra parte, el índice $Qp+Qm/F+R$ muestra valores 0,6 a 1,4 en Somosaguas y de 1,3 a 1,7 en Húmera, en ambos casos también indicativos de aridez en climas relativamente fríos. Pero de nuevo, se observa una tendencia de disminución muy clara que indicaría un aumento de la aridez y una bajada de las temperaturas según los límites proporcionados por Suttner y Dutta (1986).

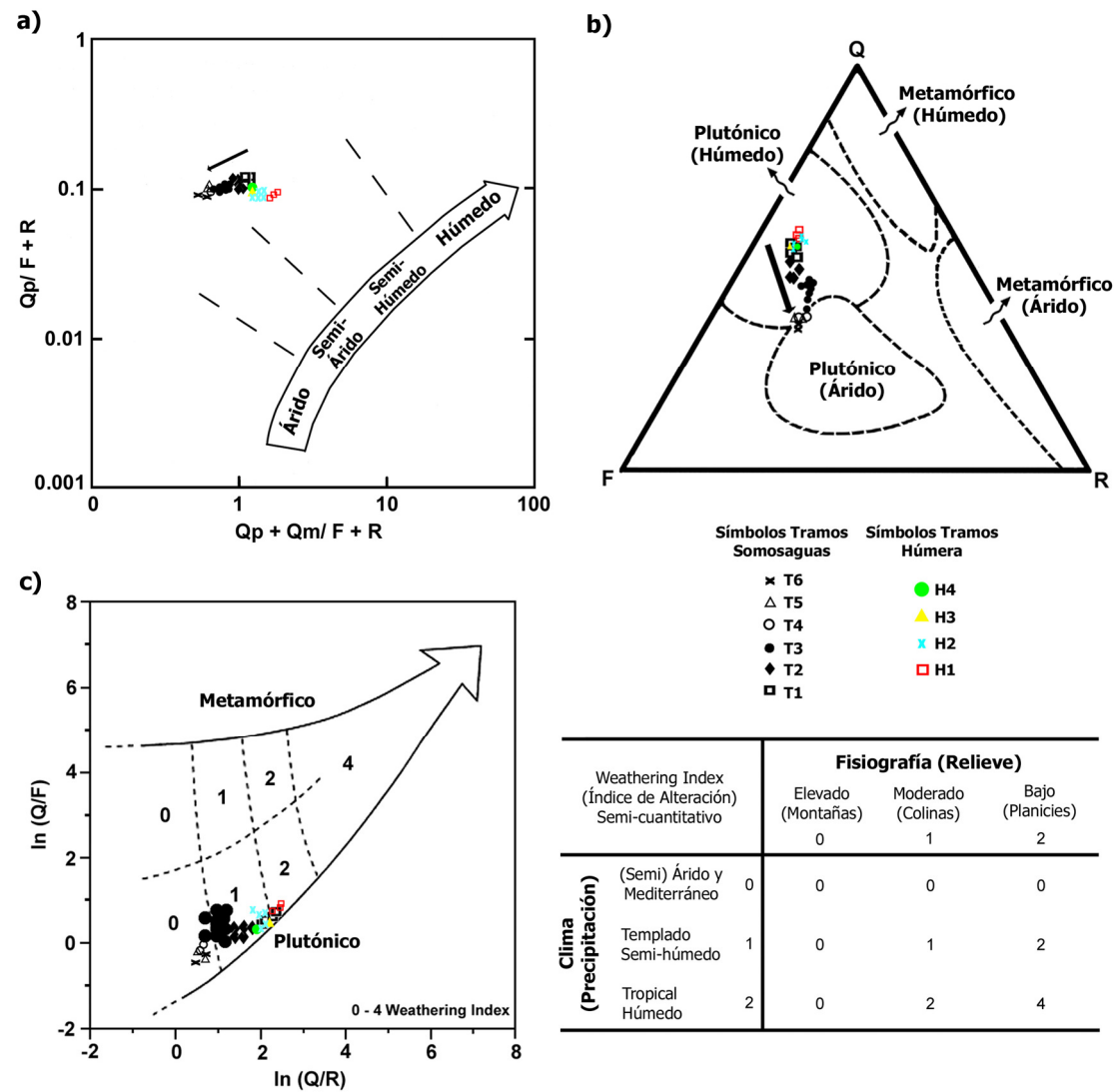


Figura 6.6- Diagramas utilizados para la inferencia paleoclimática: a) diagrama logarítmico $Qp + Qm/ F + R$ frente $Qp/ F + R$ (modificado de Suttner y Dutta, 1986); b) efecto del área fuente y el clima en la composición de las muestras, determinado mediante el diagrama de Suttner *et al.* (1981); c) índice semi-cuantitativo de la alteración química basado en estimaciones semi-cuantitativas del clima y el relieve (modificado de Weltje, 1994; Fesharaki *et al.*, 2015).

En el trabajo de Fesharaki *et al.* (2015) se representan los valores de estos dos índices en el diagrama propuesto por Suttner y Dutta (1986), observando que hay una clara tendencia de T1 a T3 de pasar de un clima semi-húmedo a otro semi-árido. En este trabajo de Tesis hemos representado sobre el mismo diagrama las muestras de los tramos T4 a T6 de Somosaguas y las muestras del yacimiento de Húmera (Figura 6.6a), observándose una tendencia similar a la descrita por Fesharaki *et al.* (2015). Utilizando el diagrama de Suttner *et al.* (1981) hemos podido identificar de nuevo la misma tendencia, de paso a condiciones más áridas, siempre en áreas con aportes mayoritariamente plutónicos (Figura 6.6b). Finalmente, la representación de los datos de los índices Q/F y Q/R, en modo logarítmico, en el diagrama de Weltje (1994), nos ha permitido deducir el paso de condiciones tropicales (índice de alteración WI = 2) a templadas semi-húmedas y finalmente a semiáridas (índice de alteración WI = 0) a lo largo de la sucesión, para un relieve moderado (Figura 6.6c). Todos estos diagramas están claramente influenciados por el aumento constante de los granos de feldespato y en especial de las plagioclasas.

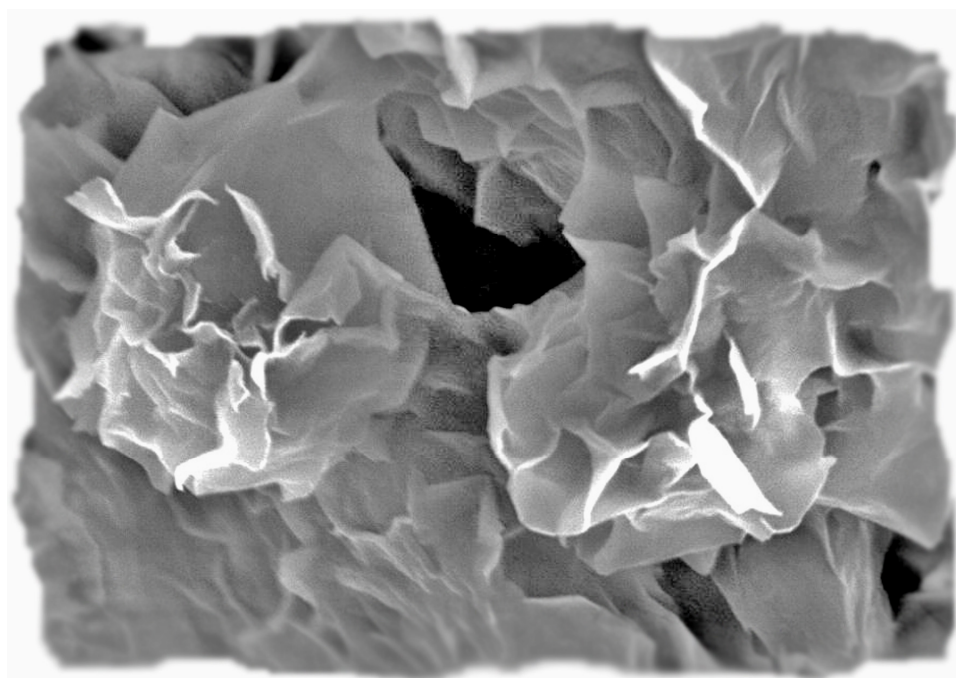
De forma general se puede decir que para una cuenca sedimentaria con unas condiciones geotectónicas bien conocidas, las diferencias en las composiciones de las arenas indican variaciones, principalmente debidas al clima y por lo tanto se pueden comparar diferentes niveles para poder deducir tendencias climáticas generales (Suttner y Dutta, 1986). Asumiendo una procedencia granítico-gnéisica y tamaños de grano medios, los índices Q/F y P/F pueden ser usados como indicadores climáticos (Basu, 1976). Según este autor, valores del primer índice menores de 1 corresponden a áreas más áridas que los que toman valores más elevados. Por lo tanto, una vez más, la tendencia observada es de aumento de la aridez a lo largo de la secuencia sedimentaria. De igual forma, el aumento del valor del índice P/F hacia techo de la sucesión es un indicador de menor alteración química y por lo tanto de condiciones menos húmedas. El diagrama QFR (Figura 6.5a) muestra una tendencia indicativa del descenso en la madurez mineralógica de las arenas del área de estudio, y por lo tanto un aumento de las condiciones de aridez. (Blatt, 1967; Basu, 1976). Tendencias similares de preservación de los feldespatos, y por lo tanto, menor acción de la alteración química y climas más áridos, son detectados en los diagramas QmFLt y QmKP (Figuras 6.5b-c). De forma contraria a lo esperado para sedimentos más distales (Breyer y Bart, 1978; Mack, 1978; Cavazza *et al.*, 1993; Ingersoll *et al.*, 1993; Arribas *et al.*, 2000) el tramo T2 no muestra una reducción importante de los fragmentos de roca y los feldespatos, de forma similar a otros niveles de los tramos de arenas micáceas. Este hecho reflejaría el aumento de la aridez que ha permitido preservar mayor porcentaje de feldespatos y fragmentos de roca que el esperado. Otro hecho destacable es la presencia cada vez más importante de carbonatos laminares (calcretas) hacia techo de la sucesión, lo que es indicativo de condiciones de mayor aridez (Suttner y Dutta, 1986; Alonso-Zarza, 2003).

El clima afecta la composición de las arenas a través de la influencia sobre la pedogénesis y los procesos de lavado de iones-alteración que destruyen la roca madre (Basu, 1976; James *et al.*, 1981; Suttner *et al.*, 1981). La pedogénesis convierte una pequeña población de fragmentos de roca en una amplia variedad de fragmentos de roca de menor tamaño, incluyendo granos monominerales y cuarzos policristalinos (Suttner y Dutta, 1986). Basu (1976) indicó que la mayor alteración física de la roca madre y la selección de tamaños de los sedimentos se produce en los suelos. Como ya se ha comentado, los cuarzos con golfos de corrosión, los carbonatos micríticos retrabajados, etc. son indicativos de estos procesos pedogénicos.

Capítulo 7

Análisis de la Mineralogía de Arcillas

La cuarta frase estaba escrita en vaso de arcilla descubierto en las ruinas de Babilonia con más de 4000 años de existencia...
Ronald Gibson



Publicaciones relacionadas:

Fesharaki, O., García-Romero, E., Cuevas-González, J. (2005) *Caracterización mineralógica del yacimiento paleontológico de Somosaguas (Mioceno, Cuenca de Madrid)*. En: Libro de resúmenes de la XIX Reunión de la Sociedad Española de Arcillas (M. Suárez, V. Rives, M.J. Sánchez y M.A. Vicente, Eds.): 79-80.

Fesharaki, O., García-Romero, E., Cuevas-González, J. & López-Martínez, N. (2007) Clay mineral genesis and chemical evolution in the Miocene sediments of Somosaguas, Madrid Basin, Spain. *Clay Minerals*, **42**: 187-201.

Carrasco, A., Sacristán, S., Benítez-López, G., Romero-Nieto, D., **Fesharaki**, O. y López Martínez, N. (2008) Aplicaciones paleoclimáticas y paleoambientales de los estudios mineralógicos al yacimiento de vertebrados miocenos de Somosaguas. *Palaeontologica Nova, Publicaciones del Seminario de Paleontología de Zaragoza (SEPAZ)*, **8**: 135-149.

7.1- Introducción

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos del estudio de la fracción arcillosa de los sedimentos del área de Somosaguas-Húmera. Como ya se ha comentado en los capítulos de antecedentes, son pocos los trabajos realizados en el área oeste de Madrid y no había datos previos en el área de estudio referentes a la fracción arcillosa. Para facilitar la lectura del capítulo se incluyen una serie de apartados que muestran algunos aspectos teóricos y clasificaciones referentes a los filosilicatos y en concreto a los minerales de la arcilla.

El término arcilla, para un geólogo, denota un sedimento formado por, al menos, un 50% de material con tamaño de partícula menor de $2\mu\text{m}$ (Eslinger y Peaver, 1988). No tiene un significado genético, sino que designa materiales resultantes de la acción de la meteorización (química y mecánica) de las rocas, de la acción hidrotermal o del depósito directo como sedimentos fluviales, marinos y lacustres (por precipitación) o como sedimentos glaciares o eólicos.

El término mineral de la arcilla hace referencia a las fases minerales de tamaños generalmente muy finos ($<2\mu\text{m}$) que los RX demuestran que son, en general, filosilicatos, aunque pueden estar acompañados de otros minerales como cuarzo, feldespatos, zeolitas, dolomita, yeso, rutilo, etc. (Eslinger y Peaver, 1988). Éstos representan los productos de alteración de un gran volumen de otros minerales, y también pueden ser originados por transformación y neoformación (Moore y Reynolds, 1997). Guggenheim y Martin (1995) definen arcilla y mineral de la arcilla de forma similar a la utilizada aquí, añadiendo la importancia de la propiedad de la plasticidad y excluyendo el valor utilizado como límite del tamaño de grano para esta definición.

Como productos de transformación y neoformación son minerales abundantes en los suelos, donde tienen lugar los primeros procesos de transformación intensa en la mayoría de estos minerales. El estudio de los suelos, y en especial de sus materiales arcillosos, y la relación de éstos con los componentes orgánicos, es de gran interés en campos como la agronomía, la geotecnia, el medio ambiente e incluso la farmacología. La acción edáfica se produce en la interfase de la biosfera, la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera, y es importante para el desarrollo de los procesos formadores de minerales de la arcilla, por lo tanto el estudio de sus asociaciones y características puede informar sobre los tipos y el desarrollo de paleosuelos, así como de las características paleoambientales y paleoclimáticas de un área determinada.

7.1.1- Estructura de los Minerales de la Arcilla

La gran mayoría de los filosilicatos presentan una característica muy importante, inducida por su estructura interior, que es su hábito hojoso o escamoso y que genera una dirección de exfoliación dominante. Las láminas de exfoliación son flexibles y en ocasiones llegan a ser elásticas, lo que le proporciona a este grupo algunas propiedades muy interesantes tanto en el estudio genético-petrográfico de las rocas y sedimentos que las contienen como en relación con sus usos tecno-industriales. Esta forma laminar y su pequeño tamaño originan una gran superficie específica en estos minerales, lo que amplifica la acción de las fuerzas electrostáticas que se originan entre partículas arcillosas (Güven, 1992).

En los minerales de la arcilla los tetraedros de silicio (SiO_4), que son la unidad básica de los silicatos (Figura 7.1a), se unen formando hojas o láminas de extensión “infinita”. En cada una de estas hojas o láminas los tetraedros se unen formando una geometría con simetría senaria (Figura 7.1b), en la que tres de los oxígenos de cada tetraedro están compartidos con los tetraedros adyacentes en la misma hoja. El cuarto oxígeno (apical) de todos los tetraedros apunta en la dirección perpendicular a la lámina y sirve para unir unas hojas con otras. Cuando los oxígenos apicales y algunos grupos OH (hidroxilos) forman octaedros (Figura 7.1c-d) sobre los tetraedros de silicio se obtiene la estructura de los filosilicatos bilaminares 1:1 (capa T:O) como la caolinita.

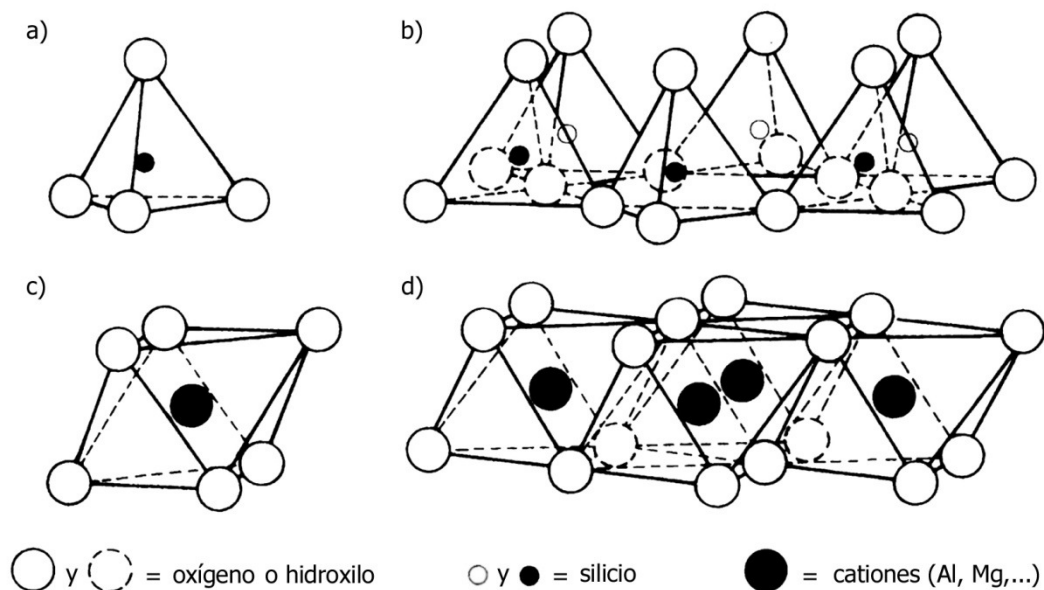


Figura 7.1- Unidades estructurales de los minerales de la arcilla (Modificado de Grim, 1968; Tsige, 1999): a) unidad tetraédrica básica de silicio; b) disposición hexagonal de los tetraedros de silicio; c) unidad octaédrica con el hueco octaédrico ocupado por un catión; d) estructura laminar de la capa octaédrica.

Cuando otra lámina tetraédrica en sentido contrario a la primera se posiciona por encima de la octaédrica, y comparte con esta sus oxígenos apicales, se forman los filosilicatos trilaminares 2:1 (capa T:O:T) como las micas o las esmectitas (Figura 7.2). Los cationes que ocupan estas posiciones octaédricas pueden ser divalentes (Mg^{2+}) o trivalentes (Al^{3+} , Fe^{3+}). Cuando están rellenas de cationes divalentes se genera una estructura tipo brucita y la estructura se clasifica como trioctaédrica, ya que cada oxígeno de la lámina está rodeada de tres cationes divalentes. En el caso de que sean cationes trivalentes se genera una estructura tipo gibbsita, en la que cada oxígeno está rodeado de dos cationes y se da lugar al tipo dioctaédrico. En cuanto a la carga generada, las capas tipo T:O son neutras y están unidas por débiles fuerzas de van der Waals, al igual que algunas tipo T:O:T, siendo esta la principal causa de su excelente exfoliación. Sin embargo, algunos minerales con capas T:O:T sufren sustituciones (sustituciones isomórficas de minerales de la arcilla) del Si^{4+} por Al^{3+} en las posiciones tetraédricas, y de elementos trivalentes (Al^{3+}) por divalentes (Mg^{2+}) en los huecos octaédricos, generándose una carga neta negativa que se intenta neutralizar con la entrada de cationes grandes (principalmente K^{1+} , Na^{1+} y Ca^{2+}) en las posiciones interlaminares (Figura 7.2). Las esmectitas y vermiculitas, aunque, en términos generales, son similares a las micas, presentan una mayor complejidad por su capacidad de acoplar moléculas de agua en su estructura y por lo tanto pueden “hinchar” y “deshinchar” variando su tamaño por expansión de la distancia entre sus capas. El caso

particular de las cloritas se relaciona con la introducción entre sucesivas capas T:O:T de una hoja octaédrica tipo brucita o gibbsita, mientras que los “fibrosos de la arcilla” (sepiolita y paligorskita) son diferentes estructuralmente y presentan alineaciones estructurales con huecos que pueden contener moléculas de agua y o elementos, lo que condiciona parte de sus propiedades fisico-químicas.

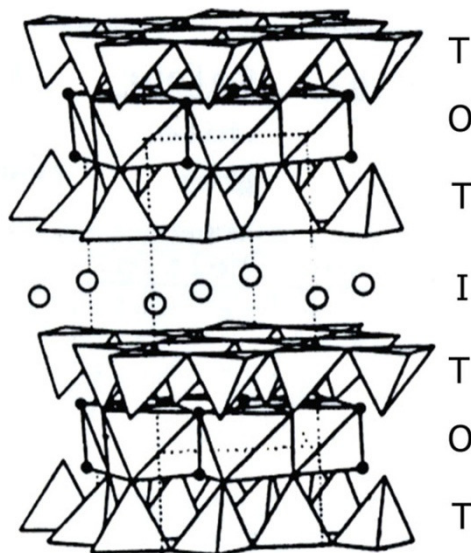


Figura 7.2- Ordenación tridimensional de los poliedros de coordinación en minerales de la arcilla tipo T:O:T, con indicación del espacio interlaminar (I) ocupado por cationes grandes (Modificado de Lima-de-Faria, 1994).

7.1.2- Concepto y Tipos de Fábricas en Arcillas

El concepto de “fábrica” o “microfábrica” en materiales arcillosos, hace referencia a la distribución espacial, orientación y relaciones entre las partículas sólidas y los poros asociados que constituyen un suelo o sedimento. Características como la porosidad, la permeabilidad o expansibilidad dependen en gran medida de la mineralogía y la microfábrica que presentan los minerales de la arcilla. Además, en la descripción de la fábrica de las arcillas hay que tener en cuenta la densidad y el tamaño y la morfología de las partículas. Por lo tanto, la microfábrica del material arcilloso depende de factores primarios (condiciones de formación) y de factores secundarios (modificadores).

Las caras de las partículas arcillosas presentan carga eléctrica negativa permanente, debido a las sustituciones iónicas dentro de las láminas. En cambio los bordes de estas partículas presentan superficies irregulares, con enlaces rotos, cavidades, etc. Así, la carga de los bordes varía en función del pH, la fuerza iónica y la concentración de sales en el medio. Por ejemplo, el punto cero de carga (PZC) en el borde de las esmectitas se produce a pH cercano a 7. Las características de la doble capa eléctrica difusa (DCED), que es la suma total de descompensaciones eléctricas en la partícula reflejada en su superficie, permitirán a las partículas asociarse (floculación) o permanecer aisladas hasta su sedimentación (dispersión). Existen tres tipos de asociaciones entre partículas en función de su carga eléctrica (Figura 7.3; Van Olphen, 1977; Güven *et al.*, 1992):

- Contactos Borde-Borde (B-B): se producen en medios que permiten la existencia tanto de cargas negativas como positivas en los bordes de las partículas, atrayéndose los

de signo contrario. Esto se suele producir para pH neutro o ligeramente ácido. Aunque también es función de la cantidad de iones, sobre todo Al^{3+} , en disolución.

- Contactos Cara-Cara (C-C): se generan en medios de pH básico, ya que se producen cargas negativas en los bordes de las partículas, que originan repulsión frente a las caras y así se forman dominios de partículas con uniones subparalelas de caras. En este caso el tamaño de las partículas suele ser mucho más pequeño que en los tipos B-B y B-C.

- Contacto Borde-Cara (B-C): son los más comunes en medios con cierta energía ya que sirven de unión entre diferentes dominios formados por los dos tipos anteriores.

Por lo general, no se produce un solo tipo de contactos entre las partículas arcillosas, sino que se forman dominios, es decir, grupos de láminas, con contactos C-C, que actúan como una única lámina; uniéndose los dominios mediante contactos B-C o B-B.

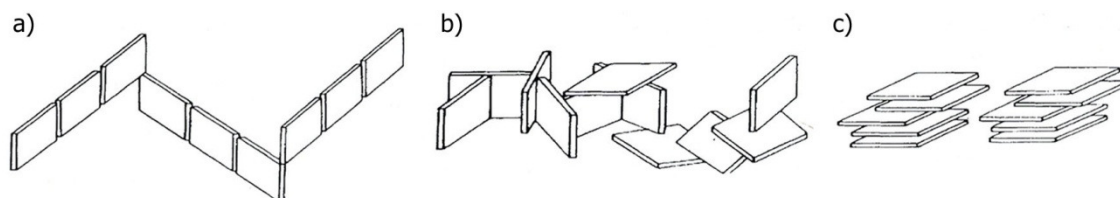


Figura 7.3. Tipos de contactos entre partículas arcillosas. a) Borde-Borde; b) Borde-Cara; c) Cara-Cara. (Modificado de Güven, 1992; Tsige, 1999).

Según como se orienten las partículas arcillosas van a dar lugar a diversos tipos de fábricas (Van Olphen, 1977; Figura 7.4):

- Sistema Floculado: en un medio con alta concentración de sales (aguas salinas) las partículas se unen rápidamente y floculan. Estos iones en disolución compensan (en función de su tamaño y carga) la repulsión entre partículas adyacentes facilitando su acercamiento (Forslind, 1953). Las uniones suelen ser del tipo B-B o B-C, formando agregados que no han tenido tiempo de reorientarse y así generan una microestructura muy porosa y abierta, formada por partículas dispuestas al azar, que confieren una densidad muy baja al sedimento resultante.

- Sistema Disperso: en medios con baja concentración en sales (aguas dulces) las partículas se repelen y están en dispersión dentro de la suspensión durante mucho tiempo y van decantando lentamente, por efecto de la gravedad. Las partículas se depositan más o menos paralelas unas a otras sobre el sustrato por medio de contactos C-C. La microestructura así originada presenta una fuerte orientación, baja porosidad, bastante compactación y origina sedimentos de alta densidad. En este caso la fábrica será ordenada.

Otros términos usados por Van Olphen (1977) son los de sistema agregado y sistema defloculado. Así el sistema disperso hace referencia a partículas separadas que sólo podrán tener contactos B-B y B-C. Mientras que el sistema agregado se originará cuando se formen dominios de partículas unidas C-C y que además podrán tener contactos B-B y B-C. El sistema floculado hace referencia a la situación en que las partículas, dispersas o agregadas, están situadas sobre el sustrato. Mientras que en el

sistema defloculado las partículas, dispersas o agregadas, están en suspensión dentro del fluido.

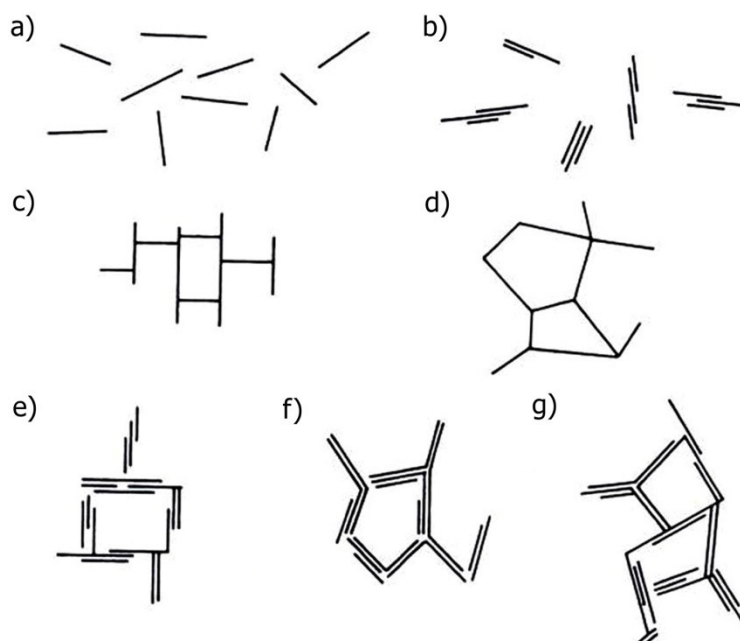


Figura 7.4- Terminología de las formas de asociación de partículas en suspensiones arcillosas (Modificado de Van Olphen, 1977): a) disperso y defloculado; b) contactos C-C, agregado y defloculado; c) contactos B-C, floculado y disperso; d) contactos B-B, floculado y disperso; e) contactos B-C, floculado y agregado; f) contactos B-B, floculado y agregado; g) contactos B-C y B-B, floculado y agregado.

Algunos términos concretos usados comúnmente para definir las asociaciones y fábricas de las arcillas son los siguientes:

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| - Apilada (Stacks) | - Castillo de naipes (Card house) |
| - Tela de araña (Webb) | - Castillo de paquetes (Book house) |
| - Libro (Book) | - Rosetón |
| - En escalera (Stair step) | - Cornflakes |
| - Panal de abejas (Honeycomb) | - Estructura turbostrática |
| - Tactoides (Tactoid) | |

Collins y McGowan (1974) realizaron una de las clasificaciones más completas de fábricas y ordenaciones de dominios de arcillas añadiendo los tipos y posiciones de la porosidad. Estos autores indicaron la existencia de tres elementos comunes e importantes en las asociaciones de partículas: los agregados (partículas unidas regular o irregularmente), las matrices (granulares o arcillosas) y los conectores (puentes de arcillas entre granos detríticos). Posteriormente, Sergeyev *et al.* (1978) realizaron una clasificación en la que incluyeron nuevos términos relacionados con la microfábrica y en especial con la microestructura de las matrices (Figura 7.5).

El principal interés de la descripción microestructural o de la microfábrica de las arcillas reside en la posibilidad de relacionar estos datos de ordenación y asociación de partículas arcillosas con el medio de sedimentación o los procesos que han afectado al depósito arcilloso, incluso en algunos casos permiten inferir procesos post-sedimentarios, y por lo tanto la historia geológica del sedimento (O'Brien, 1970; Bennet *et al.*, 1991), con aplicación directa en aspectos geotécnicos (Wilson y Wilson, 2014).

7.1.3- Interacción entre Partículas Arcillosas

El comportamiento de las partículas arcillosas viene determinado por el efecto combinado de las fuerzas de atracción y de repulsión que se generan entre estas partículas. Este comportamiento viene determinado tanto por sus características físico-químicas como por las características del medio en el que se encuentran. Los dos factores del medio que ejercen mayor influencia en dicho comportamiento son la salinidad y el pH, pero también hay que mencionar factores como la composición mineralógica y química, la turbulencia en los medios acuáticos, la temperatura, la concentración de sólidos, la actividad biológica (principalmente la microbiológica), la velocidad de sedimentación o de decantación de las partículas arcillosas, etc. (O'Brien, 1970; Push, 1973; O'Brien, 1987; Bennet *et al.*, 1991, entre otros).

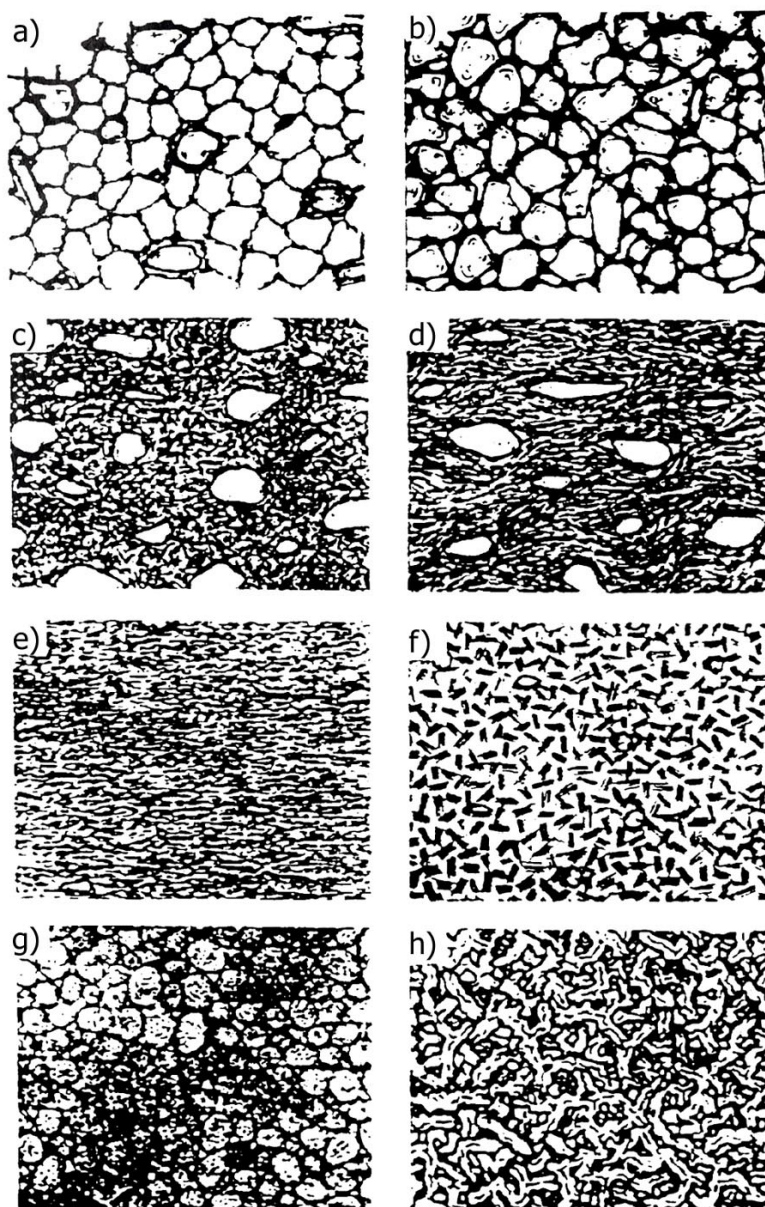


Figura 7.5- Tipos de microestructura en depósitos arcillosos (modificado de Sergeyev *et al.*, 1978; Tsige, 1999): a) panal de abeja; b) esquelético; c) matriz continua; d) matriz turbulenta; e) laminar; f) flocculada; g) pseudoglobular; h) esponjosa.

La salinidad: para un determinado pH, al aumentar la concentración de iones en solución se facilita el mayor acercamiento de las partículas, y las fuerzas atractivas superan a las repulsivas, originando la unión de las partículas, que formarán agregados, en general, con asociaciones en “Castillo de Naipes” (contactos borde-cara), generando un gel, que podría considerarse el caso más extremo de la floculación (Güven y Pollastro, 1992). La influencia de la salinidad en la capacidad de floculación de un material arcilloso depende fundamentalmente del tamaño de las partículas en suspensión (Meade, 1964) y de la concentración de electrolitos (Lambe, 1958).

El pH: en una suspensión de arcillas el pH puede modificar el signo de la carga de los bordes de las partículas arcillosas. Así afecta a los procesos de floculación de arcillas, ya que es uno de los factores de los que dependen las asociaciones entre partículas y, por lo tanto, la estabilidad de la suspensión. En pH ácido los bordes de las partículas atraen iones H^+ , generando una carga positiva en el borde, mientras que en pH básico los bordes de las partículas atraen iones OH^- , generándose una carga negativa en ellos.

7.1.4- Relación entre Comportamiento de Flujos y Arcillas

Las principales relaciones entre el comportamiento de un flujo y la interacción entre las partículas que contiene se deben a:

- La viscosidad en suspensiones diluidas de arcillas, aumenta cuando los agregados se forman por uniones de tipo B-B o B-C. La viscosidad disminuye cuando las partículas se vuelven más delgadas por uniones de tipo C-C.

- En suspensiones concentradas de arcillas las uniones B-B y B-C originan la formación de estructuras tipo “Castillo de Naipes”, continuas y encadenadas, que se extienden por todo el volumen, obteniéndose un gel (Van Olphen, 1977). En estas características, y en la posibilidad de aumentar de volumen en las posiciones interlaminares, se basa la tixotropía. Ésta es una importante propiedad de algunas arcillas (p. ej. las esmectitas) que da lugar a multitud de aplicaciones industriales, y que consiste en la capacidad de geles o coloides de disminuir su viscosidad ante la aplicación de esfuerzos o la agitación, volviendo a recuperar su viscosidad original al cesar el esfuerzo o la agitación.

7.1.5- Clasificación de los Filosilicatos

La clasificación general de los filosilicatos se realiza en función del número de láminas (bilaminares o trilaminares), del tipo de capa octaédrica (dioctaédrica o trioctaédrica) y de la carga de la lámina. Además, en el caso de las esmectitas, para diferenciar unas fases minerales de otras se hace necesario conocer las posiciones en las que se genera la carga (Newman y Brown, 1987). Según estos autores, la carga es octaédrica si más del 50% de la carga está generada en los huecos octaédricos y es tetraédrica si la carga mayoritaria proviene de los huecos tetraédricos. En las micas hay elementos distintivos que ocupan la capa octaédrica o la capa interlaminares (Tabla 7.1). Los filosilicatos bilaminares son aquellos que presentan dos láminas, una de tipo tetraédrico (T) y otra de tipo octaédrico (O), mientras que los trilaminares presentan otra capa trioctaédrica más. Las cloritas tienen una disposición estructural T.O.T.O. aunque

las capas octaédricas no son idénticas (Bailey, 1980b; Brindley, 1980; Newman y Brown, 1987; Moore y Reynolds, 1997).

Otros términos para designar minerales similares a las micas son illita, fengita, glauconita o celadonita, además de los posibles interestratificados generados entre estos y minerales como esmectitas, cloritas o caolinitas. La diferenciación óptica de estos minerales es realmente complicada y por lo tanto su diferenciación suele realizarse mediante el uso de diagramas composicionales. Según Srodon y Eberl (1984) el término illita debe designar minerales alumino-potásicos micáceos de tamaño menor a 4 micras, que no expanden y son dioctaédricos, diferenciándolos así de las “illitas trioctaédricas”, de los interestratificados I/Sm que son expansivos, y de celadonitas y glauconitas que son ferruginosas. En cuanto a su carga laminar, suelen presentar valores menores que las micas y mayores que esmectitas y vermiculitas, aunque a veces pueden presentar cargas similares a las de las vermiculitas. Newman y Brown (1987) proponen diagramas triangulares para la separación de estas fases, y aunque consideran que por una parte estarían las fases menos férricas ($\text{Fe} < 1$ por cada 4 posiciones octaédricas) como moscovitas, fengitas e illitas, y por otra parte las más férricas ($\text{Fe} > 1$ por cada 4 posiciones octaédricas) como glauconitas, celadonitas o interestratificados de glauconitas y esmectitas, opinan que hay toda una línea composicional entre ambos grupos, corroborando los datos de Velde (1977). Estos autores destacan que muchos análisis muestran que la carga laminar de estos minerales está por debajo del 0,9 por media celdilla unidad, y que muchas veces se acercan a los valores de carga de las esmectitas, no siendo minerales homogéneos en estos casos y presentando diferentes procesos de interestratificación (por ejemplo los interestratificados glauconita/esmectita).

Las fengitas se consideran como micas con más Si, Fe y Mg, y menos Al que las moscovitas con las que comparten un continuo rango composicional según Newman y Brown (1987). Tanto illitas como glauconitas tienen menos K y más H_2O^+ que las micas reales, pero se pueden diferenciar por el mayor contenido en Fe de las glauconitas. Aunque referencias a illitas pedogénicas y lacustres con mucho Fe son comunes en la bibliografía (p. ej. Norrish y Pickering, 1983). Según Bailey (1980a) la celadonita es un mineral dioctaédrico con fórmula ideal de $\text{K}_2(\text{Mg}_2\text{Fe}_2^{3+})(\text{Si}_8)\text{O}_{20}(\text{OH})_4$, y capacidad de sustitución tetraédrica de Al; su reflexión (060) es $< 1,510 \text{ \AA}$. La glauconita es similar en algunos aspectos (carácter dioctaédrico y reflexión (060)) pero es más rica en Fe y presenta sustituciones tetraédricas mayores de 0,4 Al por 8 Si, y valores de R^{3+} octaédricos mayores que 2,4 átomos por cada cuatro posiciones (Bailey, 1980a).

7.2- Metodología

7.2.1- Trabajo de Campo

El muestreo para el estudio de la fracción arcillosa ha sido intensivo, obteniéndose una muestra de cada uno de los niveles descritos para las columnas de Somosaguas y Húmera y para muestras de varios niveles de cada uno de los tramos definidos en las columnas de los sondeos de Somosaguas, sumando un total de 90 muestras. Cuando algún nivel presentaba claros signos de separación entre una zona inalterada y otra alterada se seleccionaron muestras de ambas zonas.

DIOCTAEDRICOS			TRIOCTAEDRICOS		CARGA (media celda)
BILAMINARES T:O 1:1	CANDITAS	Caolinita	SERPENTINA	Antigorita	0
		Nacrita		Crisotilo	
		Dickita		Lizardita	
		Haloisita		Bertierina	
TRILAMINARES T:O:T 2:1	PIROFILITA		TALCO		0
	ESMECTITAS	Montmorillonita (Al, R ²⁺) (Q octa.)		Hectorita (F,Li) (Q octa.)	0,2-0,6
		Beidellita (Al) (Q tetra.)	ESMECTITAS	Stevensita (Mg) (Q octa.)	
		Nontronita (Fe) (Q tetra.)		Saponita (Mg) (Q tetra.)	
		VERMICULITA		VERMICULITA	
	ILLITAS		ILLITAS*		0,6-0,85
	MICAS REALES	Moscovita (K >> Na)		Biotita (Fe ²⁺)	≈ 0,85-1
		Paragonita (Na >> K)	MICAS REALES		
		Celadonita (Si ₈) (K >> Na + Ca)		Flogopita (Mg ²⁺)	
		Glauconita (Fe ³⁺)			
T:O:T:O 2:1:1	CLORITAS				0
FIBROSOS	PALIGORSKITA		SEPIOLITA		0

Tabla 7.1- Clasificación general de los filosilicatos según el tipo de láminas, de capa octaédrica y de carga laminar (Modificado de Moore y Reynolds, 1997; basado en las clasificaciones de Bailey, 1980b, Brindley, 1980 y Newman y Brown, 1987; algunos valores de carga están basados en Suárez Barrios, 2010). En las esmectitas se indica la posición de la carga dominante (carga (Q) tetraédrica u octaédrica) y algunos cationes predominantes en las posiciones octaédricas, mientras que en las micas se indican algunos de los cationes predominantes o característicos de cada fase mineral (tanto en posiciones octaédricas como en la interlámina). Se han omitido las micas frágiles y líticas.* Actualmente solo se consideran las variedades dioctaédricas de la illita (Suárez Barrios, 2010).

7.2.2- Trabajo de laboratorio

La preparación de las muestras para su estudio mediante difracción de Rayos-X conlleva las siguientes etapas:

- **Secado:** se separaron unos 250 gramos de muestra (en los niveles definidos en los sondeos esta cantidad fue de 100 g o algo inferior) de cada uno de los niveles, secándolos en la estufa a unos 45°C, durante un mínimo de 24 horas.

- **Cuarteo y molienda:** al ser muestras totalmente sueltas o ligeramente cementadas no fue necesaria la trituración y se pasó directamente al cuarteo y molienda de la muestra. La molienda se realizó en un mortero de ágata y, posteriormente, fue tamizado

con un tamiz de 53 μm hasta que la totalidad de la muestra lo atravesó. Esta fracción se usó en la obtención de los difractogramas de polvo total, con lo que además se identificaron los posibles cementantes.

- **Eliminación de sustancias cementantes y floculantes:** el resto de cada una de las muestras fue tratado previamente al análisis de sus minerales de la arcilla.

Materia orgánica: su abundancia era variable, siendo mayor en los niveles arcillosos que en los arenosos. Para su eliminación se añadió a las muestras agua oxigenada, diluida al 30%, tantas veces como fue necesario hasta el cese de la efervescencia. Posteriormente, se procedió al lavado de las muestras con agua destilada, mediante sucesivas decantaciones.

Yeso: trabajos previos indicaban indicios de yeso en zonas cercanas, y algunos de los difractogramas de la muestra total obtenidos presentaban estos indicios, por lo que se procedió a sucesivos lavados de las muestras con agua destilada a unos 40°C y en agitación durante unos 30 minutos.

Carbonatos: en la mayoría de los niveles, los carbonatos, de composición calcita, forman costras o relleno de huecos dejados por raíces o fracturas por lo que son fácilmente separables. En los tramos T3 (Somosaguas), H3 (Húmera) y varios niveles de los sondeos se encontraban algo más dispersos los carbonatos y se hacía muy necesaria su eliminación. El procedimiento seguido para su eliminación consistió en calentar la muestra en una solución tampón de acetato de sodio y ácido acético a pH igual a 5. Este método fue propuesto por Jackson (1969) y recomendado por Moore y Reynolds (1989). Para preparar la solución tampón se disolvieron 82 gramos de acetato sódico en 900 ml de agua destilada, a los que se añadieron 27 ml de ácido acético glacial, manteniendo el pH igual a 5. Cuando el pH era ácido se añadió hidróxido de sodio y cuando era básico se añadió ácido acético, hasta obtener y estabilizarse en el pH deseado. Posteriormente, se diluyó hasta 1 litro la solución. Se colocaron 10 gramos de muestra en polvo en un recipiente con 250 ml de la solución tampón, y se sometió a agitación, a temperatura ambiente, hasta que la velocidad de la reacción había descendido, lo que podía observarse por la ausencia de burbujas de CO_2 . Posteriormente, se tapó con un vidrio y se mantuvo en una placa caliente a temperatura ambiente (unos 20°C) para evitar su ebullición, enfriándola cuando fue necesario. Por último, se centrifugó y se lavó repetidas veces con agua desionizada.

- **Separación de fracciones:** los minerales de la arcilla tienden a concentrarse en las fracciones más finas lo que hace necesario la separación de estas. En ocasiones los filosilicatos se concentran según su composición y estructura en intervalos de tamaños mucho más restringidos. Debido a este comportamiento de las partículas arcillosas se realizó la separación de fracciones (Jackson, 1975; Moore y Reynolds, 1989), basada en la Ley de Stokes, para tamaños de 20-2 μm , < 2 μm y < 0,5 μm , para ser estudiados por separado. Para la separación por fracciones es necesario obtener una perfecta dispersión de la muestra. Las dispersiones se prepararon con 100 gramos de muestra en 2 litros de agua destilada y 20 centímetros cúbicos de una disolución de NaOH (0,1N) como agente dispersante. La suspensión fue sometida a agitación mecánica durante un mínimo de 2 horas o hasta dejar de observar signos de floculación una vez transcurridos 10 minutos de reposo. Las dos fracciones mayores (20-2 μm y < 2 μm) se obtuvieron en

tubos de sedimentación, mientras que la fracción más fina ($< 0,5\mu\text{m}$) se obtuvo por centrifugación a 3000 r.p.m. durante 5 minutos y pipeteando de la suspensión resultante, dado que las partículas mayores quedaron en el fondo. Para obtener la cantidad necesaria de esta fracción de algunas muestras fue preciso realizar varias veces este proceso, debido al limitado volumen que se podía tratar cada vez en los vasos de la centrifugadora, y a la poca cantidad de fracción menor de $0,5\mu\text{m}$ que tenían algunas muestras.

- **Preparación de agregados orientados:** la preparación de agregados orientados favorece la orientación de los cristales de filosilicatos perpendicularmente a su eje c, consiguiendo de esta forma un reforzamiento de las reflexiones basales (00l) y permitiendo, como consecuencia, una mejor identificación de los filosilicatos presentes en la muestra. De cada fracción de cada muestra se tomaron 34 mg, se diluyeron en 1,5 ml de agua desionizada y se sometieron a agitación en cubeta de ultrasonidos para una dispersión total. Posteriormente se pipeteó la suspensión arcillosa sobre un portamuestras de vidrio (tamaño 1,5 x 1,5 cm) y se dejó secar a temperatura ambiente. De cada fracción de cada muestra se obtuvieron 3 agregados orientados con la muestra arcillosa seca sobre el cristal. Cada uno de estos tres cristales correspondía a un tratamiento necesario para definir los minerales de la arcilla en los difractogramas:

Agregado Orientado Normal (AO): la muestra se dejó secar sobre el portamuestras de vidrio a temperatura ambiente y sin ningún tipo de tratamiento adicional.

Agregado Orientado tratado con Etilen-Glycol (EG): otro ejemplar de cada fracción se sometió a una atmósfera saturada con etilen-glycol, en una estufa ($\approx 55^\circ\text{C}$), durante 48 horas. Este tratamiento se realiza para detectar los minerales hinchables presentes en la muestra (Brunton, 1955).

Agregado Orientado tratado térmicamente (TT): el tercer agregado orientado de cada fracción se calentó en una mufla a 550°C durante 2 horas. Este proceso permite detectar los minerales con estructura colapsable (Martín Vivaldi et al., 1968).

- **Obtención de los difractogramas:** los difractogramas para las muestras de Somosaguas han sido realizados con un difractómetro Siemens modelo D500, provisto de tubo con anticátodo de Cu de 2 Kw, utilizado a 30 mA y 40 Kv. La radiación empleada ha sido la $K\alpha$ del Cu, el monocromador un cristal curvo de grafito y una velocidad de paso de 0,02 ó 0,03 por segundo. La zona explorada (2θ) se ha extendido de 2° a 65° en difractogramas de polvo y de 2° a 25° en agregados orientados. Además de 55 a 65° y una velocidad de paso más lenta en algunas fracciones finas para obtener la posición de la reflexión (060).

Los difractogramas de las muestras de Húmera han sido obtenidos con un difractómetro Bruker D8 Advance provisto con un detector Sol-X, trabajando con las mismas condiciones técnicas que en el caso de las muestras de Somosaguas.

Los trabajos de preparación de las muestras han sido realizados en los laboratorios de los departamentos de Paleontología, de Estratigrafía y de Cristalografía y Mineralogía de la UCM. Los difractogramas se han obtenido en el departamento de Cristalografía y Mineralogía (UCM) y en el CAI de técnicas Geológicas (UCM).

- Caracterización de los difractogramas:

a) Identificación de las fases minerales: la identificación de los diferentes minerales presentes en el difractograma de polvo, así como de los distintos tipos de filosilicatos que aparecen en los diagramas de AO se ha realizado mediante el programa informático Difrac-AT y el fichero ASTM de datos de DRX de minerales, y con el programa E.V.A. y su fichero incorporado para las muestras de Somosaguas y Húmera, respectivamente.

Se han obtenido e interpretado un total de 90 difractogramas de muestras en polvo y un total de 810 difractogramas de las fracciones arcillosas. Estos últimos se han preparado con las gráficas del agregado orientado normal, el del tratamiento térmico y el del tratamiento con etilen-glycol superpuestos sobre un mismo diagrama, quedando reducidos a 270 diagramas.

b) Cuantificación de la proporción de cada mineral: para conocer la proporción de cada mineral tanto en polvo como en AO se ha utilizado el método de los “poderes reflectantes” propuesto por Schultz (1964) y los valores modificados por Biscaye (1965), que consiste en la medida de las áreas de los distintos picos diagnóstico de cada mineral. Este área se divide por un parámetro corrector que se denomina “poder reflectante” y que es característico de cada mineral (Tabla 7.2). Los valores de los poderes reflectantes vienen tabulados y aparecen en la bibliografía, habiéndose calculado a partir de curvas de calibrado obtenidas experimentalmente. Con los valores de áreas así corregidas se calcula el porcentaje de cada mineral recalculando su porcentaje.

Mineral	Poder Reflectante	Reflexión en Å	Referencia Bibliográfica
Filosilicatos	0,1	4,45	Schultz (1964)
Cuarzo	1,5	4,26	Diebold <i>et al.</i> (1963)
	2	3,33	González <i>et al.</i> (1970)
Calcita	1	3,03	Talvenheimo y White (1952)
Feldespatos Potásicos	1	3,24	Schultz (1964)
Plagioclasa	1	3,19	Schultz (1964)
Caolinita	2	7-7,2	Barahona (1974)
Illita (Mica)	1	10	Barahona (1974)
	0,65	5	Nieto (1983)
Esmectita	4	16,95-17	Martínez Ruiz (1994)

Tabla 7.2. Poderes reflectantes y reflexiones características para la cuantificación de los minerales presentes en los diagramas de polvo y los filosilicatos de los diagramas de AO+EG del área de estudio.

c) Medidas específicas: además de la identificación y la cuantificación, los difractogramas nos permiten obtener información a partir de la reflexión (060) y de la cristalinidad de esmectitas e illitas.

Reflexión (060)→ La posición de esta reflexión nos informa sobre el carácter di o trioctaédrico de los minerales de la arcilla presentes en la muestra. Este estudio permite tener una idea estadística del carácter di- o trioctaédrico de las fases minerales (minerales de la arcilla) y sobre todo es útil en las muestras en las que no se han obtenido fórmulas cristaloquímicas mediante análisis químicos. Los valores indicativos para la posición de esta reflexión son los siguientes (Bailey, 1980b; Brindley, 1980):

Minerales dioctaédricos $\approx 1,49-1,51 \text{ \AA}$.

Minerales ricos en hierro $\approx 1,51-1,52 \text{ \AA}$.

Minerales trioctaédricos $\approx 1,52-1,53 \text{ \AA}$.

Cristalinidad de Esmectitas→ Se ha usado el índice de Biscaye (1965) para medir este parámetro. Se calcula en el agregado orientado solvatado con etilen-glycol hallando el cociente V/P, donde P es la altura de la reflexión característica de la esmectita y V es la distancia desde el punto de inflexión anterior a la reflexión tomada paralelamente a ella. La cristalinidad es mayor cuanto mas cercano a la unidad resulte el cociente.

Cristalinidad de Illitas→ Se ha usado el índice de Kübler (1968), que consiste en la medida de la anchura en milímetros a la mitad de la altura de la reflexión de 10 \AA de la illita en el agregado orientado, para las condiciones técnicas de trabajo a las que se han obtenido los difractogramas. De forma general, si la reflexión es aguda y simétrica el mineral esta bien cristalizado, si se ensancha disminuye la cristalinidad, y si se hace asimétrica es que presenta signos de interestratificación con minerales hinchables.

- **Análisis de partículas de micas mayores a 1 mm:** tras una separación de los minerales férricos con separador magnético, se separaron manualmente, con ayuda de un punzón y bajo una lupa de gran aumento, partículas micáceas de varios niveles arenosos del área de estudio. Posteriormente, las micas se secaron, en la estufa, a temperaturas de 25°C , y por último se embutieron en resina para obtener las correspondientes probetas. Éstas fueron inicialmente observadas con MOLT y posteriormente analizadas con ME.

7.2.3- Técnicas Microscópicas

Se han usado diversas técnicas microscópicas tanto para la caracterización textural y morfológica como para la obtención de análisis químicos.

7.2.3.1- Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)

Para su estudio mediante esta técnica se han seleccionado 15 muestras representativas de las diferentes litologías presentes en las diferentes columnas estratigráficas, así como muestras de zonas de unión entre algunos niveles muy diferentes (lutitas con arenas o lutitas con carbonatos) para la observación de las características texturales en las zonas de contacto.

Se han realizado estudios morfológicos, texturales y de relaciones de fábrica en todas ellas y además se han realizado análisis químicos puntuales sobre las partículas que aparecen en cada una de las imágenes obtenidas. De cada muestra se ha separado un fragmento fresco (partido en el momento) representativo, que se ha secado a unos 45°C y metalizado con una fina capa de oro para hacerla conductora (metalizadora Balzers modelo SCD004). Se han utilizado electrones secundarios y en algunas ocasiones retrodispersados para obtener las imágenes. El equipo de microscopía utilizado para las muestras de los afloramientos de Somosaguas corresponde a la marca JEOL modelo JSM6400 de 40 Kv, con un espectrómetro de dispersión de energía de RX LINK

modelo Exl (equipo del Centro de Microscopía Luís Bru), mientras que el utilizado para la caracterización de las muestras de los sondeos de Somosaguas y los afloramientos de Húmera (equipo del CAI de técnicas geológicas de la UCM) era Jeol JSM-820, equipado con un microanalizador de dispersión de energía de RX modelo Link System (EDX).

7.2.3.2- Microscopio Electrónico de Transmisión (MET)

Las muestras escogidas para su estudio mediante MET son las previamente separadas en las fracciones de tamaño $< 20 \mu\text{m}$.

Esta técnica permite la observación morfológica y el estudio cristaloquímico de partículas aisladas (Keller *et al.*, 1986; Güven, 1992). La caracterización química se obtuvo al realizar sobre las partículas microanálisis por espectrometría de dispersión de energía (EDX, en un Link Isis 300), acoplada al MET, con una resolución espacial de hasta 3.3 \AA . Para la preparación de las muestras se realizó una suspensión de la fracción fina, en general $< 2 \mu\text{m}$, en acetona o 1-butanol y fue dispersado en un baño de ultrasonido.

Se depositaron varias gotas de la suspensión, mediante una pipeta Pasteur, sobre una rejilla de cobre, cubierta con una película de carbono y una fina capa de colodión. Posteriormente, se introdujeron las rejillas en el microscopio. Debido a la superposición de la banda L del cobre y la banda K del sodio, se usaron rejillas de oro, en varias muestras, para estudiar la posible presencia de sodio, aunque los resultados fueron muy similares con ambos tipos de rejillas. El equipo de microscopía usado tanto para las muestras de Somosaguas como para las de Húmera (equipamiento del Centro de Microscopía Luis Bru) corresponde a la marca JEOL modelo JEM 2000 FX de 200 Kv, equipado con un espectrómetro de dispersión de energía de RX, marca LINK, modelo AN 10000 y el filamento usado es de haxaboruro de lantano (La B_6).

7.2.3.3- Microsonda Electrónica (ME)

Esta técnica se utilizó para analizar químicamente las micas de mayor tamaño separadas manualmente de algunos niveles arenosos.

Estas micas se llevaron hasta la superficie de una probeta plástica, obteniendo un espesor idóneo, tras diversas pasadas por carborundo y alúmina. Las probetas fueron metalizadas con carbono con un metalizador Balzers Union modelo MED 010. Posteriormente, se obtuvieron imágenes de electrones secundarios y retrodispersados de 20 muestras seleccionadas (sondeos y afloramientos, así como muestras recogidas en los suelos desarrollados sobre éstos), así como 220 análisis químicos puntuales entre las muestras de Somosaguas y Húmera. En las micas de mayor tamaño se realizaron 2-3 análisis en un mismo cristal, (en los bordes y en el centro) para comprobar la existencia de posibles zonados o variaciones composicionales debidas a la transformación de las micas en nuevos minerales. El equipo de microscopía utilizado corresponde a la marca JEOL Superprobe, modelo JXA-8900-M operando con un voltaje de 15 kV y corriente de 20 nA. Los estándares utilizados han sido los definidos por Jarosewich *et al.* (1980) y el equipamiento ha sido del Centro de Microscopía Luis Brú (UCM).

7.2.4- *Análisis y Clasificación Cristaloquímica*

La fórmula estructural de cada partícula se ha calculado a partir de los análisis químicos, obtenidos mediante MET y ME, en base a una carga negativa de 44 y se expresa sobre la base aniónica de una celdilla unidad (22 oxígenos), sin expresar el agua de hidratación atribuible a los cationes interlaminares. La asignación de cada tipo de catión a una determinada posición cristalográfica se ha realizado según la propuesta de Moore y Reynolds (1997), basada en el modelo de Newman y Brown (1987). Así, se han asignado a las posiciones tetraédricas todo el Si y Al necesario hasta llegar a 8. En las posiciones octaédricas se han contabilizado el resto del Al, además de Mg, Ti, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cr, Mn y Ni. Por último se han rellenado las posiciones interlaminares con Na, K y Ca. Para los análisis obtenidos mediante ME se ha considerado todo el hierro como Fe^{2+} , ya que los análisis con esta técnica se han realizado sobre micas separadas manualmente en las que suele predominar el hierro ferroso, mientras que en los análisis realizadas con MET se ha asignado todo el hierro al Fe^{3+} , puesto que las partículas analizadas en este caso pertenecían a la fracción arcillosa ($< 2\mu\text{m}$ y $< 0,5\mu\text{m}$), y generalmente en esas fracciones predomina el hierro en estado férrico, si bien en ambos casos hay que tener en cuenta que existe cierto error debido a las limitaciones de las técnicas utilizadas. Además, pueden existir pequeñas sustituciones del Fe en posiciones tetraédricas o la inclusión de Mg en la interlámina. Por todo esto, se consideran las fórmulas cristaloquímicas solo con el objeto de su comparación interna y no en términos de análisis estructural de las diferentes fases minerales, tal y como exponen Aróstegui *et al.* (2011).

En función de la posición estructural en la que se realicen las sustituciones de los elementos en la estructura de los filosilicatos se podrán generar cargas negativas en los huecos tetraédricos (sustitución de Si^{4+} por Al^{3+}) o en los octaédricos (sustitución de Al^{3+} o Mg^{2+} por Fe^{2+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} , Mn, Ni, etc), dando lugar a minerales con carga tetraédrica u octaédrica, respectivamente. Sin embargo, solo en las fases más puras se dan solo sustituciones en alguno de los huecos, y en general hay sustituciones muy variadas en ambos tipos de posiciones estructurales. Así, para definir si un mineral tiene carga tetraédrica u octaédrica se han realizado muy diversas definiciones. Por no estar aún resuelto esta discusión entre la comunidad científica y por la rapidez y facilidad de su aplicación utilizaremos la definición propuesta por Güven (1988), quién considera que la carga es tetraédrica cuando $Q_t/Q_o > 1$, y es octaédrica cuando $Q_o/Q_t > 1$. La carga laminar se obtiene como suma de las cargas producidas en los huecos tetraédricos y octaédricos de una partícula arcillosa. Para que una partícula se considere neutra la carga laminar debe ser igual a la carga generada en la interlámina. A veces se pueden observar ligeras diferencias que se pueden deber a alguno de los factores antes explicados, como la asignación de todo el Mg a las posiciones octaédricas, pudiendo estar en parte en las posiciones interlaminares.

Otro de los valores que es importante en la clasificación de los filosilicatos es la ocupación de cationes en posiciones octaédricas, que define el carácter dioctaédrico (2/3 de las posiciones octaédricas ocupadas por elementos trivalentes) o trioctaédrico (todos los huecos octaédricos ocupados por elementos divalentes) de un mineral de la arcilla. Valores muy cercanos a 4 indican un carácter dioctaédrico, mientras que valores cercanos a 6 son indicativos del carácter trioctaédrico de una partícula, aunque en la literatura científica se han descrito valores intermedios. Hay muchas más características estructurales que se pueden analizar en caso de que haya un interés por un estudio

estructural, como las posiciones Cis o Transoctaédricas, sin embargo, no es objeto de este trabajo un estudio estructural exhaustivo y por lo tanto se remite al lector a monografías especializadas sobre esta temática (por ejemplo Güven, 1988).

Finalmente, indicar que hay posibilidades de mayor detalle en las clasificaciones de los subtipos de esmectitas o micas, sin embargo, tras numerosos intentos de definir claramente los rangos composicionales y las zonas de inmiscibilidad aún hay muchas excepciones (Grim y Kulbicki, 1961; Schultz, 1969; Vogt y Köster, 1978; Brigatti y Poppi, 1981; Newman y Brown, 1987; Wolters *et al.*, 2009; entre otros) por lo que en este trabajo tan solo realizaremos una clasificación a nivel de tipos (montmorillonitas, beidellitas, etc.) y los subtipos generales de la beidellita, no entrando en las clasificaciones de los subtipos de la montmorillonita. Por otra parte, como se muestra en la Tabla 7.1 la carga laminar en las esmectitas varía entre 0,2 y 0,6 por media celdilla unidad, y por lo tanto cuando los valores han sido inferiores a 0,2 se han denominado como beidellitas de baja carga y cuando han superado ligeramente el 0,6 se han denominado como beidellitas de alta carga. Otros autores consideran estas cargas como anómalas y separan el propio rango 0,2-0,6 en baja, intermedia y alta carga.

Dado que las beidellitas presentan la mayor diversidad dentro de las esmectitas estudiadas utilizaremos los rangos de hierro y nombres propuestos por Brigatti y Poppi (1981) para su clasificación, ya que es este elemento el que mejor separa los diferentes tipos de beidellitas obtenidas en nuestros análisis:

Beidellita $\rightarrow \text{Fe}^{3+} \leq 0,60$ átomos por celdilla unidad.

Beidellita rica en hierro (tipo 1) $\rightarrow 0,60 < \text{Fe}^{3+} \leq 1,00$ átomos por celdilla unidad.

Beidellita rica en hierro (tipo 2) $\rightarrow \text{Fe}^{3+} \geq 1,00$ átomos por celdilla unidad.

Obtenidas en este y otros estudios pero no definidos por Brigatti y Poppi (1981).

Estos autores consideran como nontronitas los valores superiores a 3,15 átomos de Fe por fórmula unidad, por lo que hay un vacío composicional entre las beidellitas y las nontronitas con respecto al contenido en hierro. Sin embargo, Brigatti (1983) indicó que pueden darse composiciones intermedias y por lo tanto, un límite claro es difícil de establecer.

7.3- Resultados del Área de Somosaguas

En este apartado se muestran los resultados mineralógicos, texturales y composicionales (cristaloquímicos) obtenidos del análisis de las muestras de arcillas de diversos niveles de los tramos definidos tanto en los afloramientos como en los sondeos realizados en el área de los yacimientos de Somosaguas.

7.3.1- Composición Mineralógica de las Muestras

Los porcentajes de minerales publicados en el trabajo de Fesharaki *et al.* (2007) fueron redondeados a valores múltiplos de 5, pero para la homogeneización y comparación con los datos obtenidos posteriormente en los análisis del resto de muestras, aquí mostraremos los valores obtenidos por aproximación o redondeo a la unidad (Tablas 7.3 y 7.4), asumiendo que el método utilizado es semicuantitativo y puede generar pequeñas variaciones inherentes a errores instrumentales y del propio operador.

Tramo	Muestra	Litología	Mineralogía total			Minerales de la arcilla								
			Q	F	Fl	< 20 micras			< 2 micras			< 0,5 micras		
						Sm	I	K	Sm	I	K	Sm	I	K
T6?	7-2	Arcosas arcillosas	16	30	54	71	21	8	72	14	14	91	2	7
	7-1		16	26	58	70	20	10	75	12	13	92	3	5
T5	6-6	Arcosas arcillosas	17	24	59	73	18	9	73	15	12	93	2	5
	6-5		15	22	63	70	19	11	72	14	14	90	4	6
T4	6-3	Arcillas ocre	7	16	77	79	13	8	85	6	9	96	1	3
	6-2	Arenas con micas	16	30	54	79	17	4	82	14	4	94	3	3
T3	N-4.6	Arcosas gruesas y carbonatos laminares	10	29	61	74	18	8	80	11	9	92	6	2
	N-4.1		12	25	63	77	15	8	78	8	14	90	2	8
	4-8		13	21	66	78	14	8	78	7	15	92	1	7
	C-4-8b		17	13	70	77	20	3	77	17	6	85	12	3
	C-4-8a		18	15	67	75	19	6	74	19	7	86	13	1
	4-7		12	23	65	77	15	8	77	8	15	86	6	8
	3-13		13	22	65	76	15	9	78	8	14	87	5	8
	3-12		12	27	61	82	15	3	84	9	7	85	7	8
	S-11		12	24	64	78	14	8	79	8	13	91	2	7
T2	4-5	Arenas gruesas	12	25	63	77	16	7	84	8	8	86	7	7
	N-2	Arcillas marrones	6	14	80	75	14	11	79	8	13	90	3	7
	4-6		6	15	79	79	10	11	80	7	13	85	7	8
	4-3		7	14	79	76	14	10	78	9	13	84	7	9
	3-10		5	16	79	75	15	10	78	8	14	85	7	8
	3-8		6	16	78	74	15	11	78	9	13	83	8	9
	3-6		6	15	79	74	15	11	74	13	13	86	7	7
	3-4		7	15	78	75	15	10	73	13	12	85	7	8
	3-2		7	14	79	75	14	11	78	9	13	85	3	12
	S-9		7	15	78	74	15	11	79	8	13	84	3	13
	S-7		7	14	79	74	14	12	80	8	12	83	8	9
	S-5		7	13	80	75	14	11	73	14	13	81	5	14
	S-3		8	13	79	75	15	10	78	9	13	82	9	9
	N-3	Arenas micáceas	11	29	60	82	16	2	84	8	8	90	7	3
	4-4		12	31	57	83	16	1	90	8	2	91	3	6
	4-2		13	27	60	78	15	7	85	8	7	92	7	1
	3-11		10	37	53	81	10	9	90	9	1	91	2	7
	3-9		10	35	55	80	10	10	82	9	9	90	9	1
	3-7		11	35	54	80	10	10	83	9	8	89	8	3
	3-5		12	29	59	74	18	8	82	8	10	90	8	2
	3-3		12	30	58	75	18	7	84	9	7	91	7	2
	S-10		10	33	57	79	11	10	81	10	9	98	1	1
	S-8		12	33	55	81	11	8	83	9	8	89	9	2
	S-6		12	35	53	75	17	8	80	10	10	90	9	1
	S-4		12	30	58	75	16	9	82	9	9	90	8	2
	S-2		13	27	60	76	17	7	83	9	8	92	7	1
T1	N-1a	Pelitas arcillosas	12	15	73	73	14	13	75	12	13	82	6	12
	4-1a		13	15	72	72	19	9	76	11	13	83	6	11
	S-1a		12	17	71	77	14	9	78	14	8	86	7	7
	N-1	Arcosas arcillosas	18	12	70	78	14	8	80	13	7	85	7	8
	4-1		16	13	71	72	21	7	73	15	12	84	8	8
	3-1		17	13	70	73	20	7	73	15	12	85	7	8
	S-1		17	13	70	72	21	7	78	13	9	83	8	9

Tabla 7.3- Porcentajes de los minerales mayoritarios cuantificados en los diagramas de polvo, y de los minerales de la arcilla de cada fracción de los niveles muestreados en los afloramientos del yacimiento de Somosaguas. Q = Cuarzo, F = Feldespatos (Feldespato potásico más plagioclasa), Fl = Filosilicatos, Sm = Esmeclitas, K = Caolinita, I = Illita.

Todas las muestras matriz-soportadas del yacimiento de Somosaguas, tanto de las columnas de los afloramientos como de los testigos de los sondeos (Tablas 7.3 y 7.4), en muestra total, están formados por más de 40% de filosilicatos, entre 12 y 31% de feldespatos (plagioclasa, ortosa y microclina) y de 10 a 38% de cuarzo. Los niveles clasto-soportados son más ricos en cuarzo (39-51%) y feldespatos (39-44) y muestran contenidos de filosilicatos mucho más bajos (10-18%). Algunos difractogramas

muestran reflexiones pertenecientes a calcita (en general de 1-3%) e indicios de otras fases minerales (yeso y óxidos de hierro). Los fragmentos de roca, que son difícilmente detectables en los difractogramas, fueron diferenciados y cuantificados en el estudio petrográfico mediante MOLT (ver capítulo 6). En cuanto a la composición general de las muestras se observa, como cabía esperar, que las muestras más arcillosas son las que tienen mayor proporción de filosilicatos, disminuyendo éstos en las muestras de arenas más gruesas matriz-soportadas y llegando a sus valores mínimos en las muestras clasto-soportadas. El cuarzo y los feldespatos tienen un comportamiento inverso. En cuanto a los diferentes tramos, las comparaciones deben ser entre litologías similares (Tablas 7.3 y 7.4).

En los niveles más arcillosos de T-4, T-1, T2 y T4, se observa que el cuarzo va disminuyendo y el feldespato y los filosilicatos aumentando al ascender en la columna general. En cuanto a los niveles de arenas micáceas de los mismos tramos (T-4, T-1, T2 y T4) se vuelve a reproducir la tendencia a la disminución de cuarzo y aumento de feldespatos, aunque la variación de los filosilicatos es algo menos clara. En los niveles de arenas con mucha matriz arcillosa (tramos T-5, T-3, T-2, T0, T1, T3, T5 y T6?), aún teniendo en cuenta pequeñas variaciones debidas al tamaño de grano, se puede distinguir una clara tendencia a la disminución del cuarzo y aumento del feldespato, y un aumento de los filosilicatos hasta T1 y su posterior disminución hasta T6. Finalmente, los niveles clasto-soportados (niveles en los tramos T-3, T-2, T0 y T2) tan solo parecen mostrar un ligero aumento de los filosilicatos, y en todo caso son niveles de granulometría bastante diferente, por lo que son menos determinantes que los anteriormente descritos.

Los principales minerales de la fracción arcilla (Tablas 7.3 y 7.4) son esmectitas, micas (illitas) y caolinita, con un claro predominio de la esmectita. También hay indicios de diferentes proporciones de interestratificados Illita/Esmectita (I/Sm) en varias muestras. Las esmectitas llegan a constituir más del 90% de algunas fracciones arcillosas, en especial, en las fracciones más finas. La mineralogía de la fracción arcilla, vista según los niveles muestreados en la sucesión sedimentaria, muestra variaciones poco claras, aunque se puede intuir una ligerísima disminución de las esmectitas y aumento de las illitas, si bien hay que tener de nuevo en cuenta las diferentes litologías. La caolinita es más heterogénea en su distribución y parece estar más en relación con el tipo de litología que con una variación en la sucesión vertical de niveles. En cuanto a la distribución por fracciones sí se observan variaciones importantes de los diferentes minerales. Así, mientras que las esmectitas aumentan su concentración en las fracciones más finas, las illitas presentan la tendencia contraria, y la caolinita es poco abundante y de nuevo poco homogénea en sus tendencias. Sí parece que la caolinita, en general, es más abundante en las dos fracciones más gruesas que en la menor de 0,5 micras, para cada nivel. Finalmente, se han incluido las dos muestras de carbonatos laminares (¿calcretas?) estudiadas por Carrasco *et al.* (2008) que muestran una tendencia similar a lo comentado en los párrafos anteriores, aunque cabe destacar su mayor concentración en illita respecto a los niveles infra y suprayacentes.

En general, los difractogramas obtenidos presentan las reflexiones de la mica (Illita) y la esmectita bien definidos, sin embargo, en algunos casos se observan “hombros” laterales en las reflexiones principales (001) de las esmectitas y las illitas (Figura 7.6), y en otros casos se han observado picos entre las reflexiones de la mica (illita) y la esmectita a valores cercanos a 11,1 Angstrom que desaparecen en el tratamiento

térmico, o una banda con multitud de picos entre las reflexiones principales de la esmectita y la illita (Figura 7.7). Según Moore y Reynolds (1997) estas características, además de la presencia a 17,7° del difractograma del AO normal de un pico relativamente intenso, son indicativas de la presencia de interestratificados I/Sm. Los difractogramas en los que hay una reflexión clara, aunque pequeña, a 11,1 Å podrían indicar la presencia de un interestratificado de I/Sm de tipo R3 I(0,9)/Sm en el que la secuencia sería del tipo ISII con mezcla de laminas de illita adicionales (Moore y Reynolds, 1997: página 272). Por otra parte, estos autores muestran un patrón similar al observado en la Figura 7.6b en la que hay un interestratificado I/Sm de tipo R1 I(0,65)/Sm (Moore y Reynolds, 1997: página 275). En todo caso la relativamente baja proporción de estos minerales, la presencia conjunta de una mezcla que contiene también illitas y esmectitas, y la metodología usada para la obtención de los difractogramas, dificultan mucho la caracterización certera del tipo de interestratificado y la proporción de cada tipo de componente, y solo permiten la confirmación de la presencia de al menos un tipo de interestratificado I/Sm en las muestras estudiadas en el yacimiento de Somosaguas.

Tramo	Muestra	Litología	Mineralogía total			Mineralogía de arcillas								
			Q	F	Fl	< 20 micras			< 2 micras			< 0,5 micras		
T0	SN-1-2	Arenas matriz-soportadas	26	23	51	80	13	7	82	11	7	89	4	7
	SN-2-11		22	27	51	78	13	9	79	12	9	91	3	6
	SN-3-13		25	25	50	79	14	7	83	11	6	91	4	5
	SN-5-17	Arenas clasto-soportadas	39	44	17	93	6	1	95	5	-	97	2	1
T-1	SN-2-6	Arenas con micas	15	25	60	82	11	7	85	8	7	90	2	8
	SN-5-13		18	23	59	83	12	5	85	9	6	92	3	5
	SN-2-6	Pelitas arcillosas marrones	16	12	72	82	15	3	86	12	2	90	2	8
	SN-5-13		15	13	72	80	16	4	85	11	4	91	3	6
T-2	SN-2-2	Arenas matriz-soportadas	26	20	54	79	13	8	82	14	6	90	4	6
	SN-3-12		25	22	53	78	16	6	80	12	8	88	4	8
	SN-4-13		27	22	51	80	14	6	83	9	8	89	6	5
	SN-3-3	Arenas clasto-soportadas	42	40	18	90	9	1	94	6	-	97	3	-
T-3	SN-4-3	Conglomerados clasto-soportados	45	43	12	88	11	1	92	7	1	95	4	1
	SN-4-8	Arenas matriz-soportadas	29	23	48	79	12	9	82	10	8	92	4	4
	SN-5-11		30	26	44	80	11	9	85	8	7	92	2	6
T-4	SN-5-8	Arenas con micas	22	20	58	88	10	2	90	6	4	95	1	4
	SN-5-10		20	21	59	85	12	3	88	8	4	93	2	5
	SN-5-8	Pelitas arcillosas marrones	18	10	72	77	15	8	80	9	11	88	4	8
	SN-5-10		15	13	72	80	13	7	81	10	9	91	3	6
T-5	SN-5-1	Arenas matriz-soportadas	34	25	41	80	8	12	89	5	6	93	3	4
	SN-5-4		34	23	43	82	5	13	88	4	8	93	2	5
	SN-5-6		33	24	43	81	9	10	87	5	8	91	3	6

Tabla 7.4- Porcentajes de los minerales mayoritarios cuantificados en los diagramas de polvo, y de los minerales de la arcilla de cada fracción de los niveles muestreados en los testigos de sondeos del yacimiento de Somosaguas. Q = Cuarzo, F = Feldespatos (Feldespato potásico más plagioclasa), Fl = Filosilicatos, Sm = Esmectitas, K = Caolinita, I = Illita. Los guiones indican indicios (proporciones menores al 1%).

7.3.2- Características Microtexturales y Micromorfológicas

Se han podido estudiar las características microestructurales y las microfábricas mediante las imágenes obtenidas con MEB, así como las observaciones de partículas aisladas o formando pequeños dominios por medio de MET. Además, se obtuvieron imágenes con ME de algunas de las partículas de mica separadas manualmente.

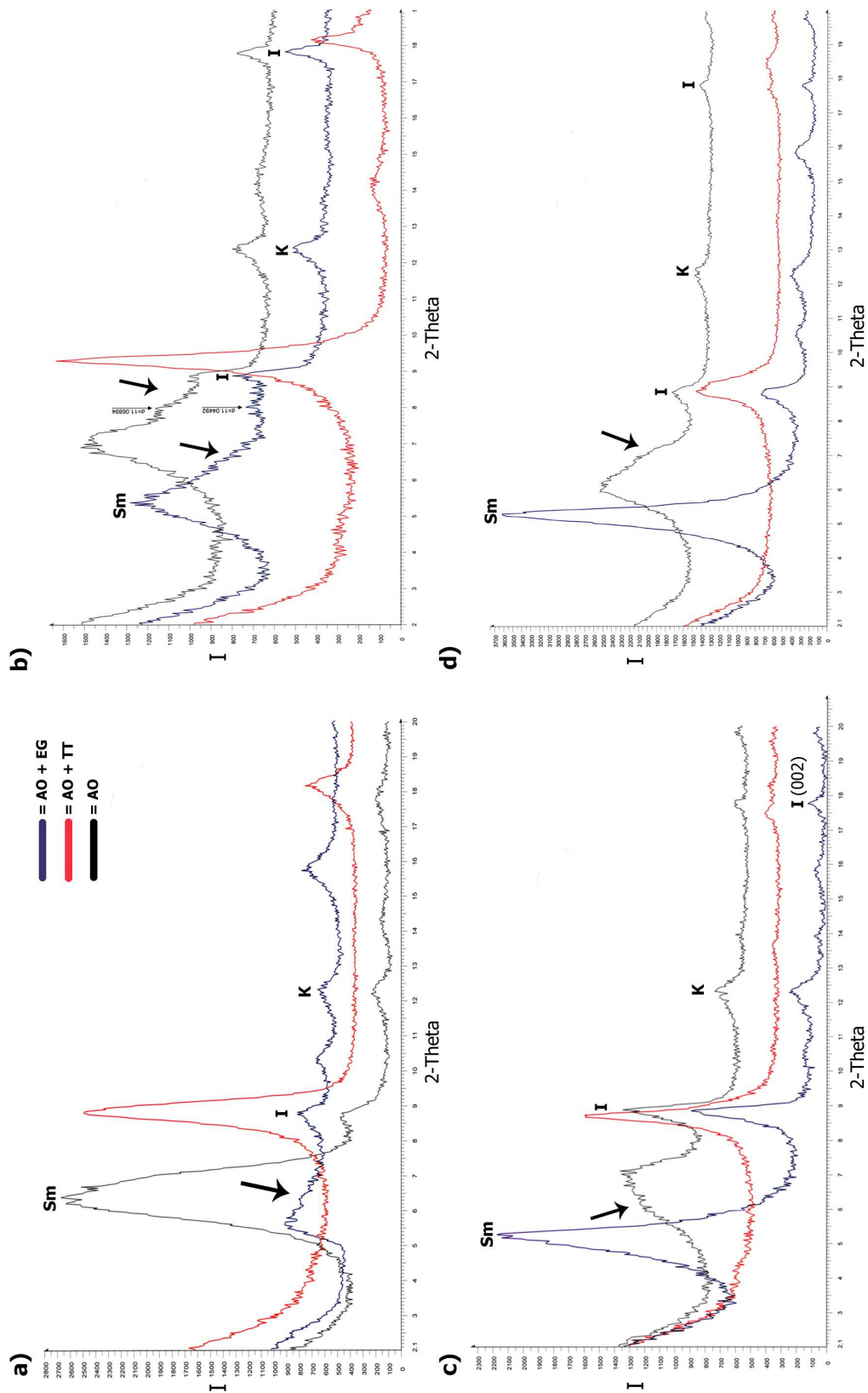


Figura 7.6- Difractogramas representativos de fracciones arcillosas del yacimiento de Somosaguas que muestran picos de los minerales mayoritarios. Las flechas indican aspectos de las trazas de los rayos X que podrían indicar “hombros” debidos a interestratificados I/Sm. I = illita; Sm = esmectita; K = caolinita. Difractogramas pertenecientes a las muestras a) 3-1; b) S-1a; c) S-3; d) S-4.

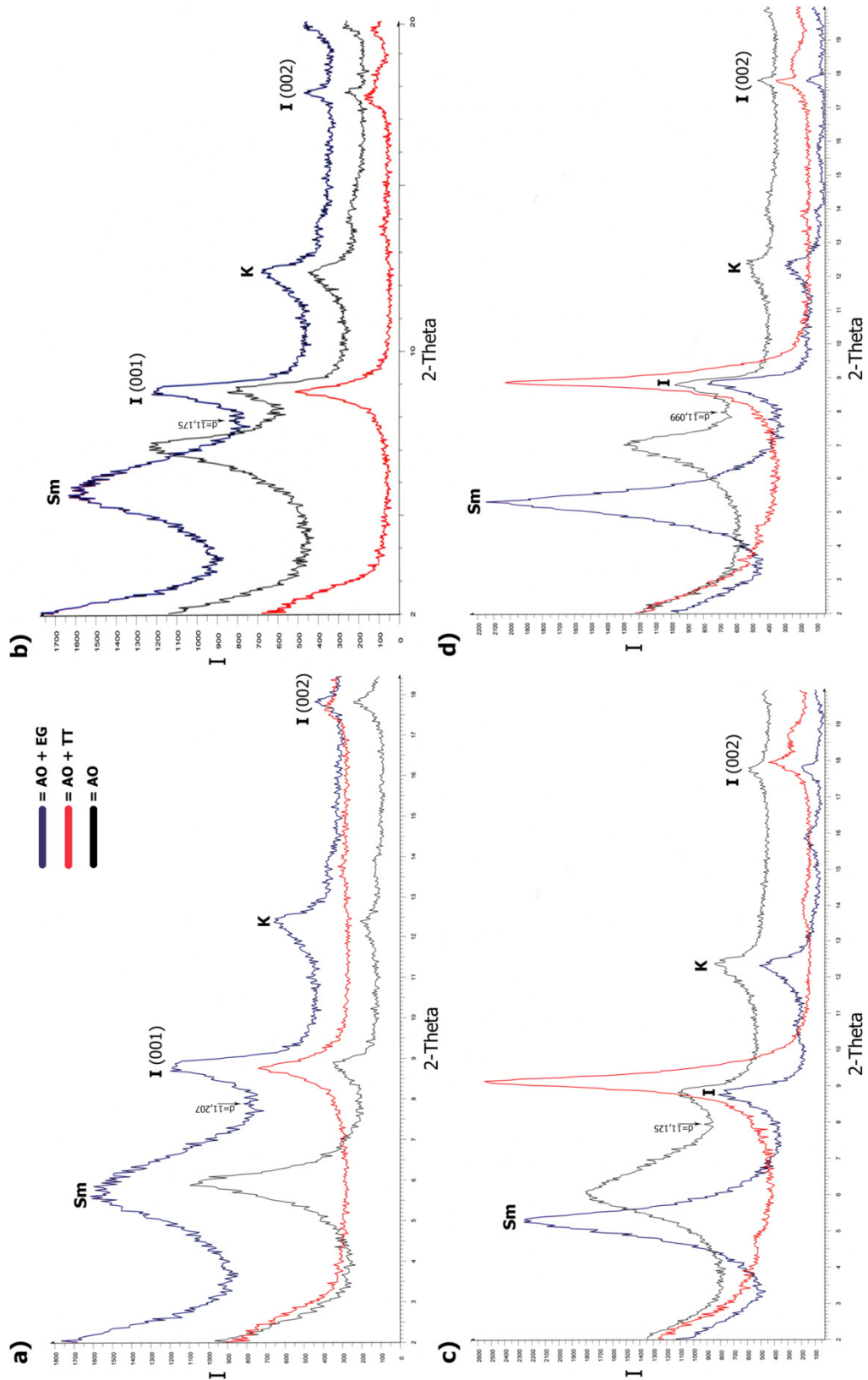


Figura 7.7- Difractogramas representativos de fracciones arcillosas del yacimiento de Somosaguas que muestran picos de los minerales mayoritarios e indicación del pico a 11,1 posiblemente debido a interestratificados I/Sm. I = illita; Sm = esmectita; K = caolinita. Difractogramas pertenecientes a las muestras a) S-2; b) 3-2; c) 4-3; d) SN-5-13.

Las imágenes obtenidas con MEB muestran una situación general de las muestras con abundantes granos detríticos (cuarzos y feldespatos, principalmente, aunque también minerales densos), en las que las esmectitas forman verdaderos recubrimientos (*coatings*) sobre estos granos (Figura 7.8c-d). Se observa que su crecimiento es favorecido por zonas de macla, fracturación o disolución. Las relaciones entre los minerales de la arcilla y las zonas de debilidad de los cristales han sido tratadas en los capítulos anteriores. Se distinguen granos de feldespatos muy fracturados, disueltos parcialmente y con indicios de recristalización en algunas fracturas (ver Figura 5.9).

En general, la primera capa que recubre los granos detríticos es de esmectitas unidas mediante contactos cara-cara, mientras que por encima de éstas, las uniones pasan a ser de tipo B-B y B-C formando diferentes tipos de fábricas (Figura 7.8). El tipo de contactos que predominan y las fábricas que se obtienen son diferentes en los niveles más arenosos, tanto matriz-soportados como clasto-soportados, y los más arcillosos.

Las esmectitas presentes en las litologías más arenosas están tapizando todas las superficies formando recubrimientos en los que las partículas forman microdominios en los que las uniones son de tipo B-C y B-B (Figuras 7.8), dando lugar a agregados en una textura poco ordenada y de alta microporosidad, por lo que son sedimentos menos densos y compactos que los de tramos más arcillosos. En estos niveles las texturas son típicamente en panal de abeja y rosetón para las partículas más pequeñas (Figura 7.8b-h) y *cornflakes* para los más grandes (Figura 7.9a-c), tapizando en todos los casos las superficies de los minerales detríticos (cuarzos, feldespatos, micas y minerales densos) y rellenando los poros y espacios entre los diferentes granos (Figura 7.8).

En las litologías más arcillosas las partículas de esmectitas se presentan, generalmente, en forma de *flakes* aislados con bordes alabeados, que se agrupan en agregados de partículas más o menos paralelas presentando uniones de tipo C-C (Figura 7.9a-d). En estas litologías la microestructura está relativamente ordenada y es compacta por lo que tienen baja porosidad (poros pequeños y poco conectados) y son sedimentos bastante densos (Figura 7.9d-f).

La Figura 7.9e muestra la zona de transición entre dos niveles del tramo T-1, uno más arenoso y otro más arcilloso, observándose la diferencia de texturas, más ordenada y paralela en los niveles de arcillas y más “caótica” en los niveles arenosos. Las zonas con los mayores contenidos en carbonatos laminares presentan texturas más grumosas (Figura 7.9g-h). Excluyendo las diferencias descritas entre las fábricas predominantes entre los niveles más arcillosos y los más arenosos, no se han observado diferencias texturales significativas entre niveles de similares tamaños de grano. Las fábricas observadas son esencialmente agregadas y floculadas, sin embargo en los niveles más arenosos la microestructura sería en panal de abeja, esquelética o de una matriz continua, mientras que en los niveles arcillosos predominaría la microestructura laminar o la floculada. Dado que la mayor parte de las uniones entre partículas arcillosas son de tipo B-B o B-C en las muestras de los tramos más arenosos, y que la mayor proporción de estas arcillas son de composición esmectítica podemos deducir que han formado parte de suspensiones concentradas y viscosas, mientras que las que forman parte de los niveles más arcillosos y que presentan uniones C-C se habrán formado en suspensiones poco viscosas y han tenido cierto tiempo para su decantación.

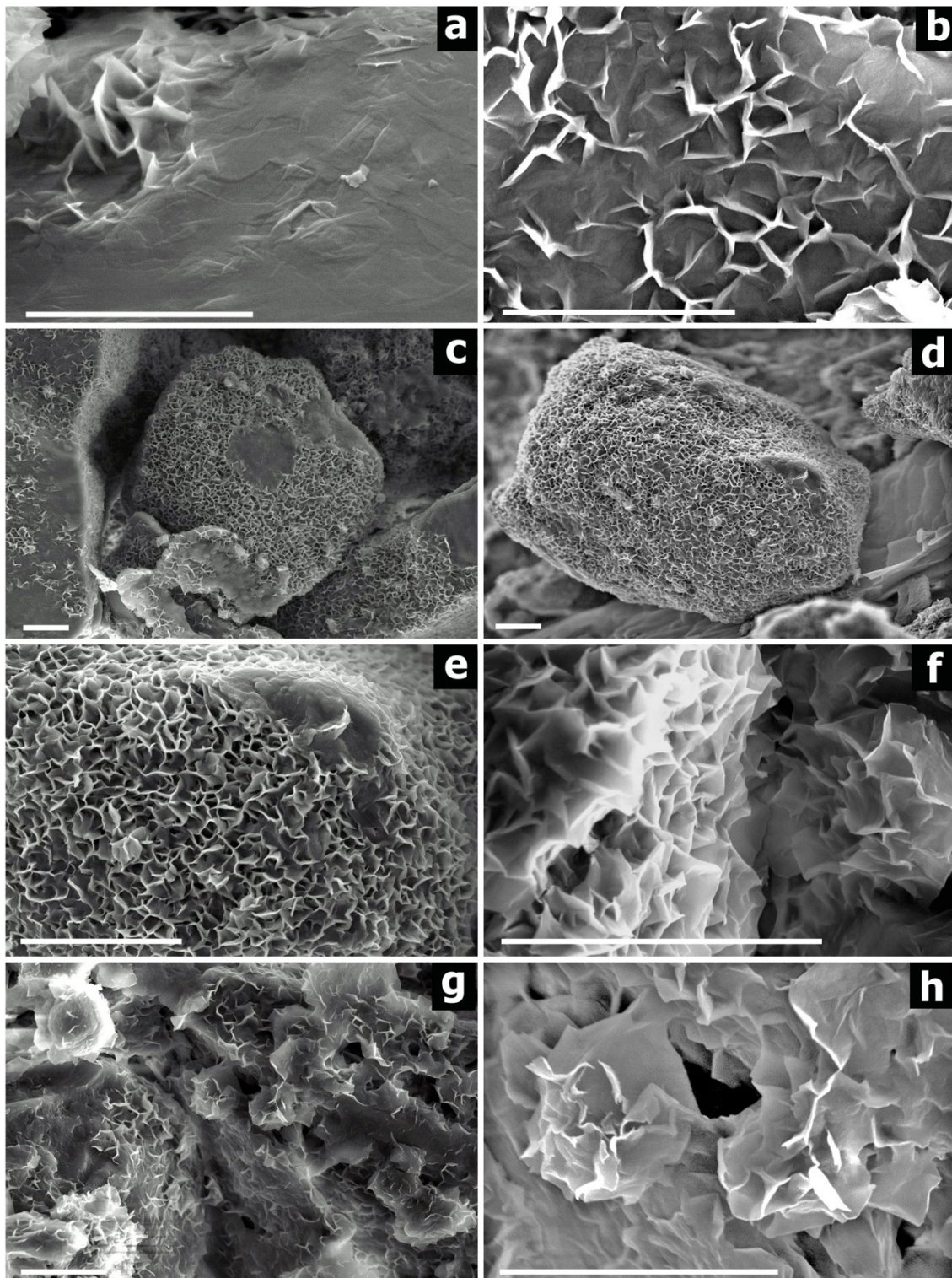


Figura 7.8- Diversos aspectos microtexturales observados mediante MEB en muestras del yacimiento de Somosaguas: a) primeras capas de esmectitas con contactos C-C sobre granos detríticos; b) formación de contactos B-C y B-B; c-f) recubrimientos de granos detríticos de arcillas con textura en “panal de abeja”; g-h) texturas en forma de “rosetones”. Las barras de escala miden 15 micras en todas las imágenes.

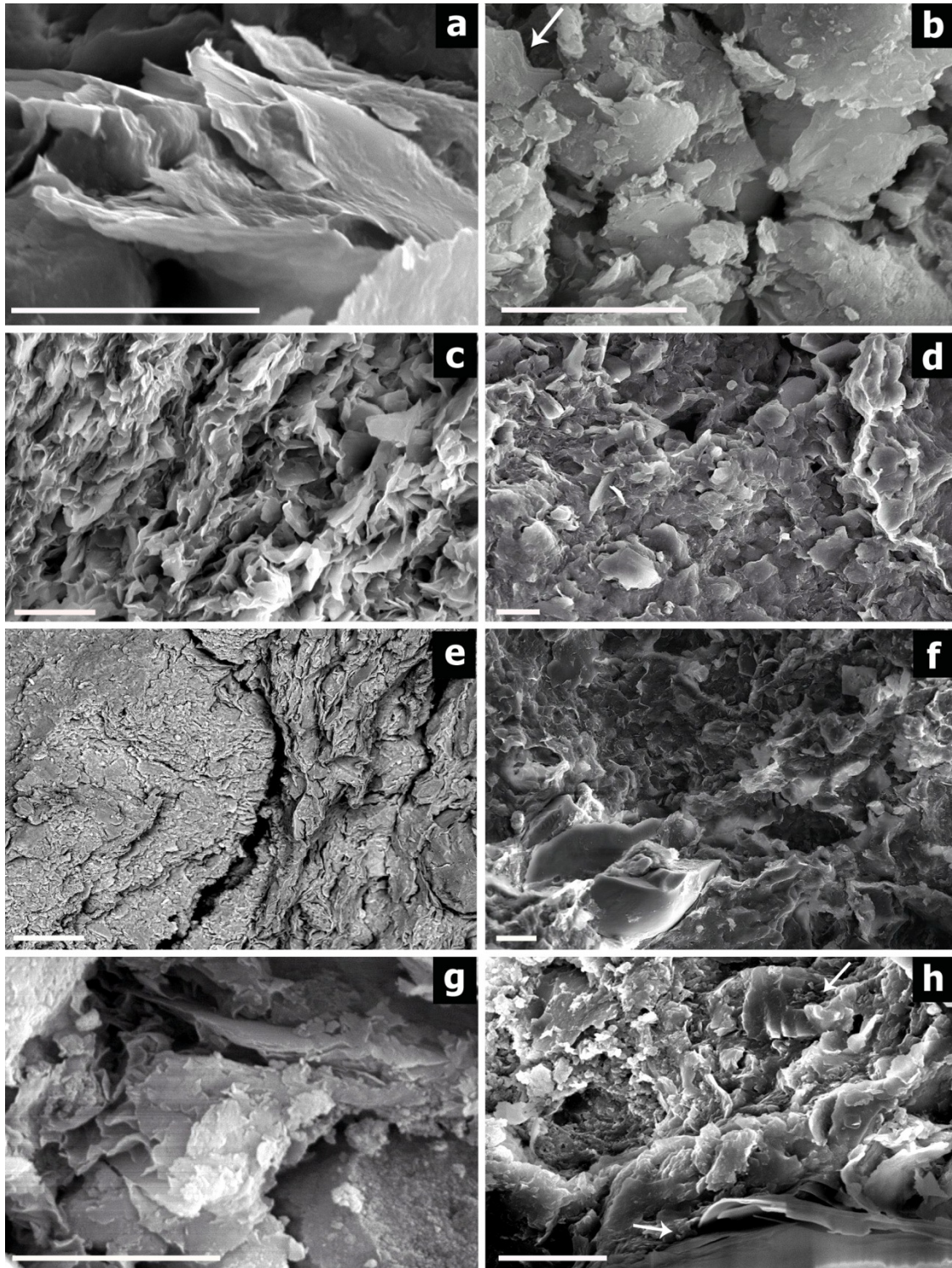


Figura 7.9- Características microtexturales de muestras del yacimiento de Somosaguas observadas mediante MEB: a) partículas de esmectitas con texturas de *flakes* aislados con contactos C-C; b-d) texturas muy densas por la agregación de partículas de esmectitas con contactos C-C, a veces en escalera (flecha en b); e) contacto entre dos niveles, uno arcilloso con mejor ordenación paralela de las partículas y otra menos arcillosa con textura más caótica; f) muestra matriz-soportada en la que en primer término se observa un grano de feldespato ligeramente fracturado y disuelto; g) visión general de una muestra con esmectitas, detríticos y carbonatos (esquina inferior derecha); h) textura grumosa de una muestra con carbonatos (las flechas indican partículas micáceas que se han deformado y con las láminas abriéndose). Las barras de escala miden 10 micras en todos los casos.

En las imágenes obtenidas con MEB, las partículas micáceas presentan formas típicamente laminares y suelen presentar las láminas separadas, con esmectitas recreciendo entre las láminas, en sus bordes y sobre sus superficies, aprovechando pequeñas fracturas (Figura 7.10a-e). Algunas partículas de micas observadas presentan adaptación a presión ejercida por los granos más duros (feldespatos y cuarzo, principalmente) estando ligeramente onduladas en las zonas de adaptación (Figura 7.10 d-e). En ocasiones, las esmectitas aprovechan la presencia de láminas de micas para unir el sedimento actuando a modo de conectores según terminología de Collins y McGowan (1974), y otras veces rellenan poros, llegando a converger en el poro desde las paredes del mismo (Figura 7.10f-g).

Aunque, como se ha comentado, la mayoría de los procesos observados se podrían definir como *coatings* (recubrimientos) o *pore fillings* (relleno de poros), en algunos casos, se observan indicios de *pore lining* incipientes con cristales creciendo de forma perpendicular sobre granos detríticos (Figura 7.10h).

Finalmente, las observaciones con MEB han permitido obtener indicios de actividad microbiana que han sido confirmados con la presencia de restos calcificados de al menos dos tipos de microorganismos fósiles. El primer tipo (Figura 7.11a-b) presenta una morfología segmentada enrollada con disposición cilíndrica y las distintas unidades pueden estar formando agregados o en algunos casos adheridos a elementos alargados en forma de cuerdas. El segundo tipo aparece en forma de elementos filamentosos segmentados que se extienden sobre los materiales arcillosos como “lianas” y que llegan a zonas comunes de concentración (Figura 7.11c-d).

Las imágenes de electrones secundarios obtenidas con ME de las partículas de micas muestran morfologías típicamente laminares y separación en láminas de menor tamaño, empezando por los bordes y progresando de forma longitudinal a través de toda la partícula. Algunas partículas de mica presentan aspecto retorcido o “deshilachado” con láminas muy abiertas, terminando en punta (Figura 7.12). En estas imágenes se indican las posiciones donde se realizaron análisis químicos puntuales, que se corresponden con los análisis tabulados en el Anexo III. En algunos casos se realizaron varios análisis sobre una misma partícula, como se puede observar en la Figura 7.12c, con el objetivo de comprobar si las zonas que presentaban aspecto más retorcido mecánicamente o variaciones de la intensidad también mostraban características composicionales diferentes a las zonas de los cristales con un aspecto más laminar y menos alterado *a priori*.

Las observaciones realizadas mediante MET han permitido diferenciar dos tipos de morfologías de las partículas “individuales” de esmectitas. Las esmectitas de composición montmorillonita presentan morfologías de velos muy finos con los bordes alabeados, festoneados o rizados (Figura 7.13a-c), mientras que las esmectitas de composición beidellita o las de composiciones intermedias (casos especiales descritos en el siguiente apartado) son mucho más idiomorfas, laminares e incluso tabulares pseudo-hexagonales o redondeados (Figura 7.13d-h). Se han observado muy pocas partículas de caolinita, y tan solo se ha podido identificar claramente una como caolinita por su análisis cristalquímico. Esta circunstancia seguramente sea causada por la baja proporción en la que están presentes estos minerales. Estas partículas presentan la típica morfología tabular pseudohexagonal (Figura 7.13f).

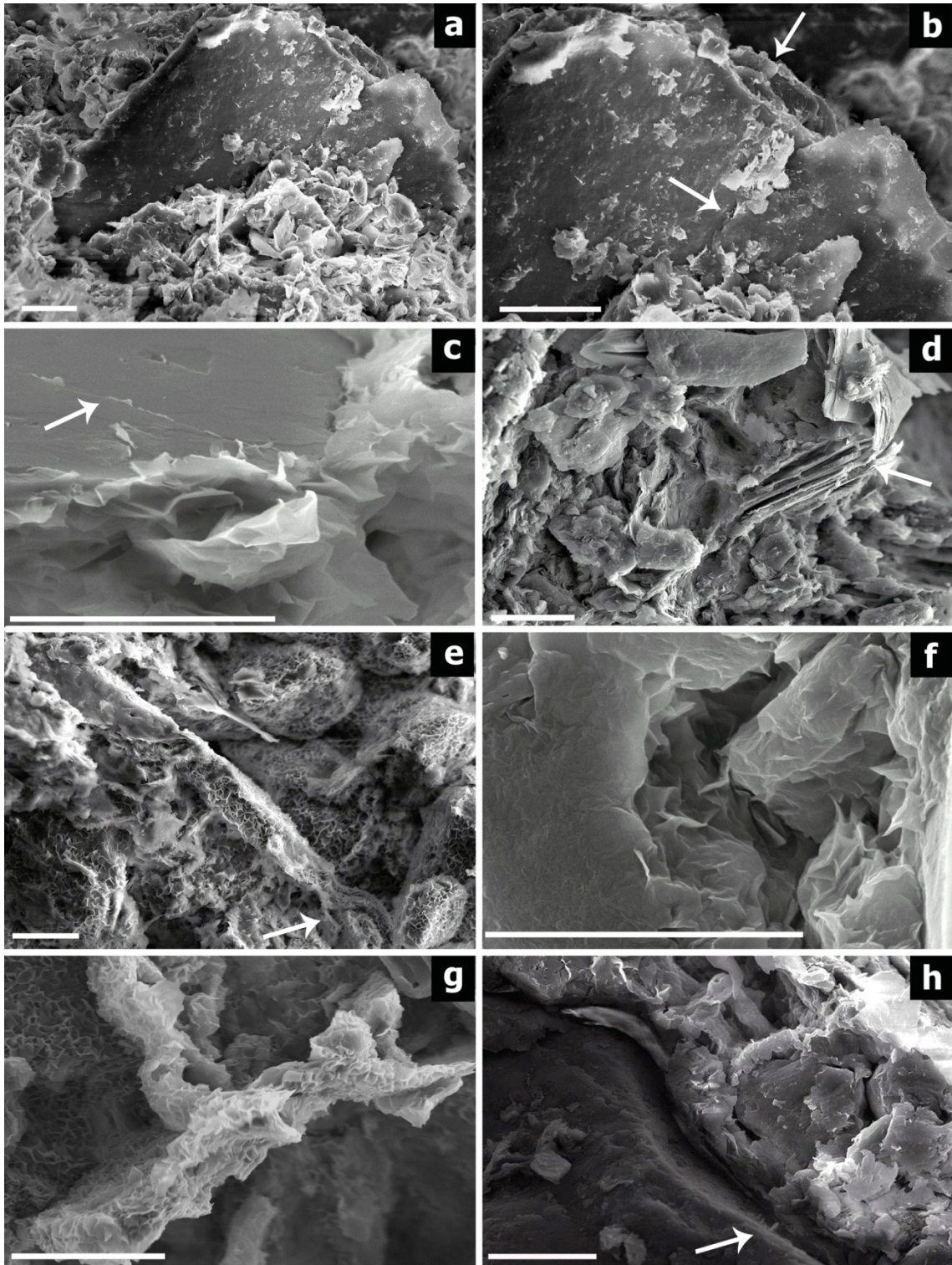


Figura 7.10- Relaciones entre las diferentes partículas observadas con MEB en muestras del yacimiento de Somosaguas: a) aspecto general de una muestra con una partícula micácea parcialmente cubierta por esmectitas; b) detalle de la anterior con indicación (flechas) de puntos de nucleación y crecimiento de las esmectitas; c) partícula micácea sobre la que crecen esmectitas aprovechando fracturas y bordes; d) partícula de mica que presenta las láminas abiertas y cierta deformación; e) granos detríticos con recubrimientos de arcillas y detalle (flecha) de la deformación de una mica por compactación; f) relleno de un poro por el crecimiento de *coatings* de esmectitas; g) esmectitas tapizando granos detríticos y realizando una labor de “conectores” entre diversas zonas de la muestra; h) detalle de la zona de contacto entre un grano detrítico y arcillas esmectíticas, con el crecimiento de cristales perpendiculares a la superficie del grano. Las barras de escala miden 15 micras en todos los casos.

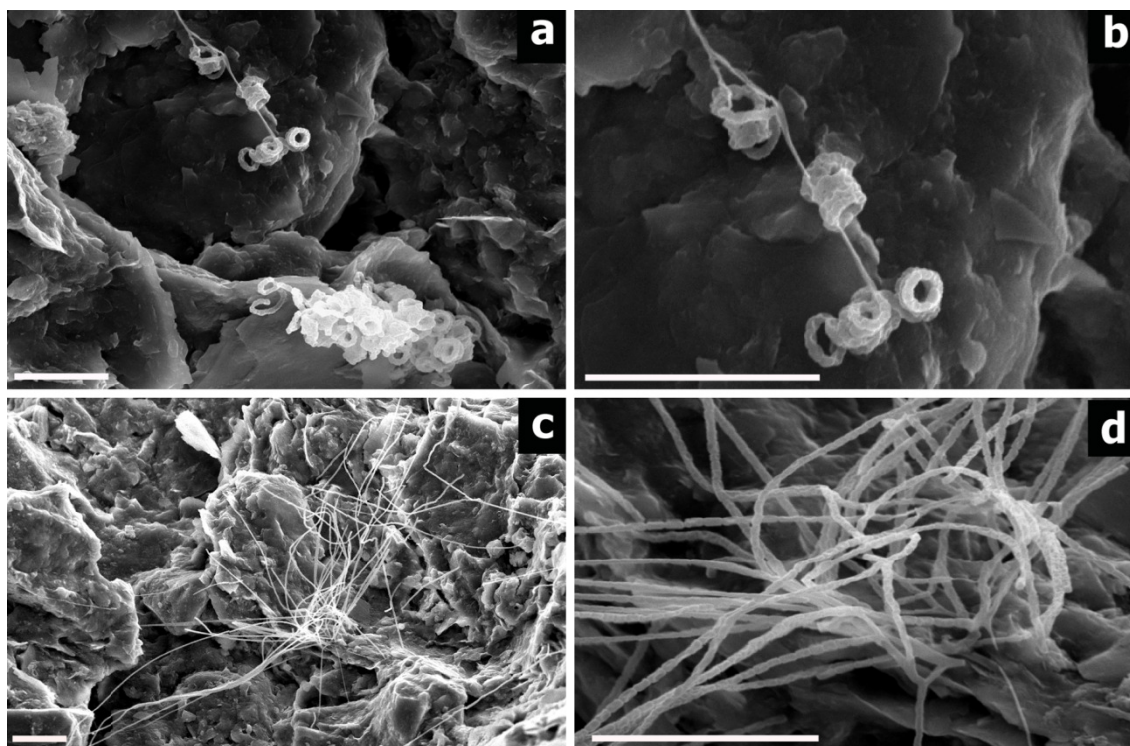


Figura 7.11- Imágenes de MEB representativas de dos estructuras biogénicas observadas en las muestras de Somosaguas: a-b) morfología segmentada, generalmente, enrollada con disposición cilíndrica; c-d) elementos segmentados alargados que se extienden sobre los materiales arcillosos. Las barras de escala miden 10 micras en todas las imágenes.

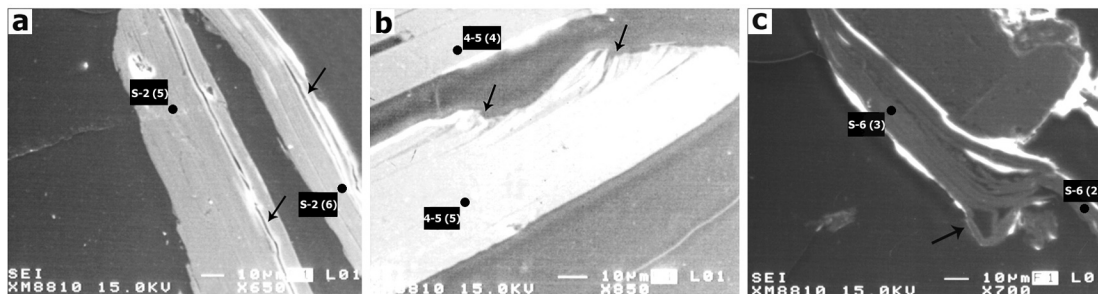


Figura 7.12- Imágenes de micas obtenidas con microsonda electrónica utilizando electrones secundarios: a) típica morfología laminar de las micas; b) detalle de los extremos de partículas de micas con el inicio de la separación de las láminas; c) partícula de mica muy alterada con láminas abiertas y retorcidas. Se indican los puntos de análisis (recuadros negros) y las zonas donde se está produciendo la separación en láminas de menor tamaño (flechas).

7.3.3- Características Cristaloquímicas

El estudio de las características cristaloquímicas de las partículas arcillosas se ha realizado a partir de varios análisis para conocer: 1) de forma estadística la distribución de minerales di y trioctaédricos, mediante el estudio de la reflexión (060); 2) el grado de cristalinidad de las diferentes fases minerales (filosilicatos) presentes en las muestras, mediante el cálculo de los índices de Kübler y Biscaye; 3) la composición de los filosilicatos más gruesos mediante el ajuste de fórmulas cristaloquímicas de partículas de micas obtenidas a partir de microanálisis realizados con M.E.; 4) la composición de los filosilicatos más finos mediante el ajuste de fórmulas cristaloquímicas obtenidas a

partir de análisis puntuales sobre partículas arcillosas con AEM-MET; 5) las variaciones internas de los cristales (alteraciones o transformaciones) y las variaciones composicionales entre fases minerales que se producen en el área de estudio.

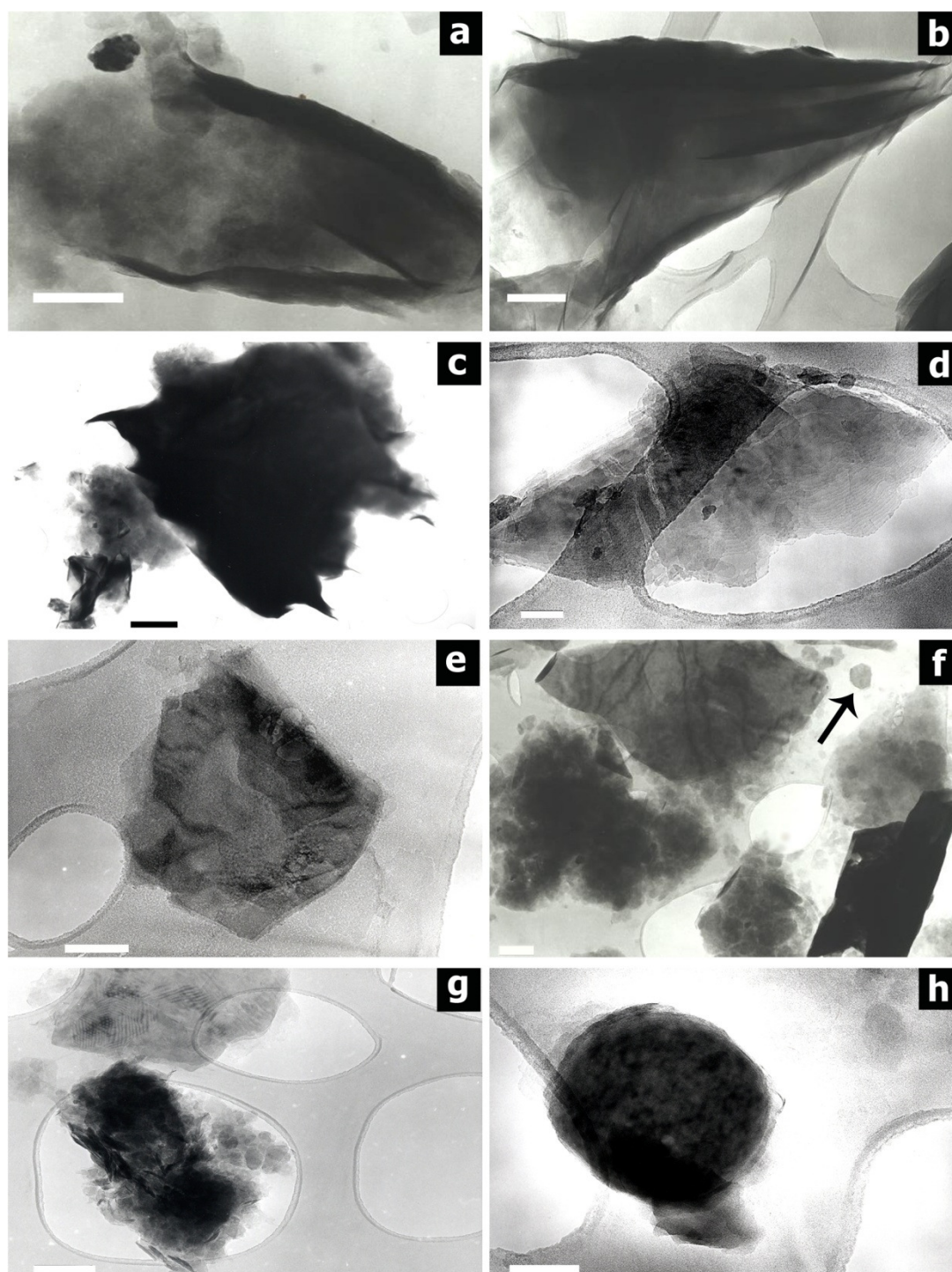


Figura 7.13- Imágenes obtenidas con MET de muestras del yacimiento de Somosaguas: a-c) partículas de montmorillonita con formas de delicados velos, en ocasiones con los bordes festoneados o rizados; d-e) partículas de beidellitas con morfologías laminares y textura en escalera de determinadas láminas; f) partículas de beidellitas (idiomorfos) junto con otras fases poco cristalinas (formas algodónosas) y composiciones intermedias (la flecha indica un cristal pseudo hexagonal de caolinita); g) la partícula superior es una beidellita rica en Fe pero la inferior es un agregado de pequeños cristales de montmorillonita; h) una partícula redondeada de composición beidellita, bajo la cual se ve una montmorillonita. Las barras indican 150 nm.

El estudio de la posición de la reflexión (060) se ha realizado tanto en el difractograma de RX de la muestra total como en difractogramas de muestras en polvo (no orientados) de la fracción menor de 5 micras. Los datos de la posición de la reflexión (060) de cada nivel analizado están tabulados en la Tabla 7.5. La Figura 7.14 muestra algunos difractogramas representativos de los diferentes picos obtenidos para la región en la que se presenta la reflexión (060). En general, en las muestras de polvo las reflexiones son más diversas y aparecen tanto a valores típicos de minerales trioctédricos (1,52-1,53) como de minerales dioctaédricos (1,49-1,50). Además, algunos difractogramas presentan reflexiones debidas a fases muy ricas en hierro (1,51-1,52) o incluso una banda continua entre valores de 1,49 a 1,53. En las fracciones menores de 5 micras, en cambio son claramente mayoritarios las muestras con solo una reflexión en valores de 1,49 o aquellos que presentan una potente reflexión a 1,49 y reflexiones mucho menos intensas en valores indicativos de presencia de minerales trioctaédricos.

Los resultados de la medida de los índices de cristalinidad para esmectitas y micas (illitas), respectivamente mediante los índices de Biscaye y Kübler, aparecen tabulados en la Tabla 7.6. En este caso también se ha realizado este estudio sobre los difractogramas de la muestra menor de 5 micras, con el fin de observar posibles variaciones relacionadas con el tamaño de las partículas. Se observa que en todas las muestras hay una buena cristalinidad de las esmectitas y moderada a pobre en las micas. Además, es clara la tendencia a aumentar de ambos índices con la disminución del tamaño de partícula, por lo que aumenta la cristalinidad de las esmectitas y disminuye la de las micas en las partículas más finas.

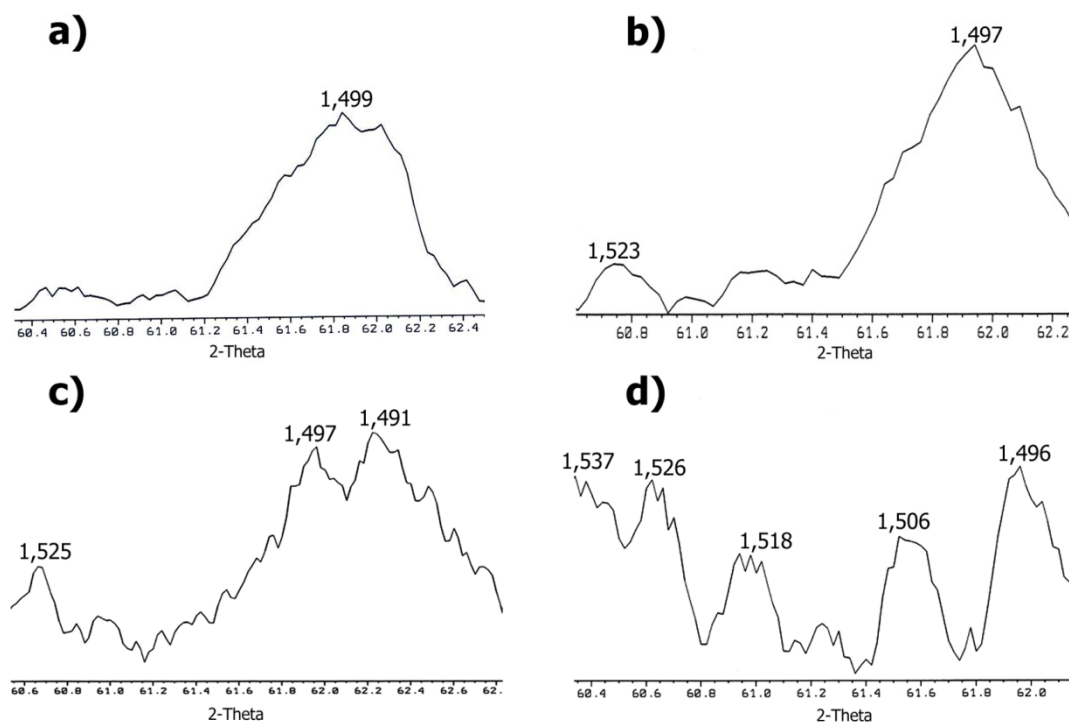


Figura 7.14- Traza de difractogramas en la zona de la reflexión (060): a) una única reflexión en valores de fases dioctaédricas; b) una potente reflexión debida a fases dioctaédricas y una menor por las fases trioctaédricas; c) reflexiones debidas a fases dioctaédricas y fases enriquecidas en hierro; d) aspecto de “banda” con múltiples reflexiones debidas a fases dioctaédricas, trioctaédricas y ricas en hierro.

Muestras y Tramos	Posición de la reflexión (060) Polvo	Posición de la reflexión (060) < 5 µm	Interpretación
7-2 (T6?)	Intenso – 1,50 continuidad hacia los Medianos – 1,52-1,53	Intenso – 1,49 Poco Intenso – 1,52	Dioctaédricos y fases ricas en Fe; transformaciones entre fases tri y dioctaédricas
6-6 (T5)	Intenso – 1,49 continuidad hacia los Medianos – 1,52-1,53	Intenso – 1,49 Poco Intenso – 1,52	Dioctaédricos y fases ricas en Fe; transformaciones entre fases tri y dioctaédricas
6-2; 6-4 (T4)	Intensos – 1,50; 1,52 continuidad hacia los Medianos – 1,51; 1,53	Intensos – 1,49; 1,50	Dioctaédricos y fases ricas en Fe; transformaciones entre fases tri y dioctaédricas
4-8; N-4.1; N-4.5 (T3)	Intensos – 1,49; 1,50 continuidad hacia los Medianos – 1,52; 1,53	Intenso – 1,50 Poco Intenso – 1,52	Dioctaédricos e indicios de transformaciones entre fases
S-5; S-9 (T2)	Intensos – 1,49; 1,50 continuidad hacia los Medianos – 1,51; 1,52; 1,53	Intenso – 1,50	Dioctaédricos e indicios de transformaciones entre fases
S-2; S-6 (T2)	Intenso – 1,50 continuidad hacia los Medianos – 1,51; 1,52; 1,53	Intensos – 1,49; 1,50	Dioctaédricos e indicios de transformaciones entre fases
S-1a (T1)	Muy Intenso – 1,50 Poco Intensos – 1,52; 1,53	Intenso – 1,50	Dioctaédricos en fracciones finas y di y trioctaédricos en el polvo
S-1 (T1)	Intensos – 1,49; 1,50 Poco Intenso – 1,53	Intenso – 1,50 Poco Intenso – 1,51	Dioctaédricos en fracciones finas y di y trioctaédricos en el polvo
SN-1-1; SN-1-8; SN-4-15 (T0)	Muy Intenso – 1,50 Poco Intenso – 1,53	Intenso – 1,50	Principalmente dioctaédricos
SN-2-10; SN-5-17 (T0)	Intensos – 1,49; 1,53	Intenso – 1,50	Tanto di como trioctaédricos en polvo y solo dioctaédricos en fracciones finas
SN-2-6; SN-5-13 (T-1)	Intenso – 1,50 continuidad hacia los Medianos – 1,51; 1,52; 1,53	Intensos – 1,49; 1,50	Dioctaédricos e indicios de transformaciones entre fases
SN-3-6; SN-4-14 (T-2)	Muy Intenso – 1,50 Poco Intensos – 1,52; 1,53	Intenso – 1,50	Dioctaédricos en fracciones finas y di y trioctaédricos en el polvo
SN-3-3; SN-4-12 (T-2)	Intensos – 1,50; 1,53	Intenso – 1,50	Tanto di como trioctaédricos en polvo y solo dioctaédricos en fracciones finas
SN-4-4; SN-5-11 (T-3)	Intenso – 1,50 continuidad hacia los Medianos – 1,52-1,53	Intenso – 1,50 Poco Intenso – 1,52	Dioctaédricos y fases ricas en Fe; transformaciones entre fases tri y dioctaédricas
SN-5-9; SN-5-10 (T-4)	Intenso – 1,50 continuidad hacia los Medianos – 1,51; 1,52; 1,53	Intensos – 1,49; 1,51	Dioctaédricos e indicios de transformaciones entre fases
SN-5-4; SN-5-6 (T-5)	Intenso – 1,50 Mediano – 1,53	Intensos – 1,49; 1,50 Poco Intenso – 1,52	Tanto dioctaédricos como trioctaédricos

Tabla 7.5- Principales reflexiones del pico (060) en muestras seleccionadas de los afloramientos y los sondeos de Somosaguas, tanto de muestra total como de la fracción menor de 5 micras.

Del estudio composicional, mediante M.E., de las partículas de mica más gruesas, separadas manualmente, se han obtenido composiciones con cargas de micas e illitas y con ocupaciones octaédricas variables (tanto dioctaédricas como trioctaédricas, ver Anexo III). Las micas trioctaédricas se corresponden con biotitas de gran variabilidad composicional. En estos minerales predomina el potasio como catión interlamina y presentan cargas laminares diferentes en función del grado de alteración que han alcanzado. Incluso se han observado cargas muy bajas (1,94-1,25) típicas de vermiculitas, aunque como ya se ha indicado previamente, los rayos X no han distinguido la presencia de vermiculita en las muestras. De hecho, se han observado

todos los posibles valores intermedios entre las cargas típicas de micas y vermiculitas. Al mismo tiempo, estos cristales de biotita presentan una importante variación del contenido en hierro, magnesio y aluminio, tanto entre partículas diferentes, como de borde a centro de una misma partícula. Las micas dioctaédricas se corresponden con moscovitas que también presentan unas importantes variaciones composicionales, principalmente relacionadas con el contenido del aluminio tetraédrico. Esta variación del aluminio origina fórmulas típicas de moscovitas y de micas fengíticas (baja carga tetraédrica), con todos los posibles estadios intermedios (cargas entre 1,86 y 0,85).

Muestra (Tramo)	Índice de Kübler		Índice de Biscaye	
	< 20 μm	< 5 μm	< 20 μm	< 5 μm
7-2 (T6?)	6	8	0,96	0,97
6-6 (T5)	7	8	0,91	0,94
6-2; 6-4 (T4)	9-10	10	0,94-0,95	0,97
4-8; N-4.1; N-4.5 (T3)	9	10-11	0,96-0,97	0,98
S-5 y S-9 (T2)	8	8	0,89-0,90	0,96
S-2 y S-6 (T2)	11	11-12	0,93	0,97-0,98
S-1a (T1)	6	7	0,94	0,98
S-1 (T1)	7	7	0,92	0,96
SN-1-1; SN-1-8; SN-4-15 (T0)	6-7	8-9	0,92-0,94	0,95
SN-2-10; SN-5-17 (T0)	8-9	9	0,94	0,94-0,96
SN-2-6; SN-5-13 (T-1)	7-8	8-9	0,95-0,96	0,96-0,97
SN-3-6; SN-4-14 (T-2)	6-7	8	0,90-0,93	0,92-0,94
SN-3-3; SN-4-12 (T-2)	6-8	9	0,94	0,95
SN-4-4; SN-5-11 (T-3)	9	10-11	0,92	0,94-0,95
SN-5-9; SN-5-10 (T-4)	10	11	0,94	0,96-0,97
SN-5-4; SN-5-6 (T-5)	9	9-10	0,96	0,98

Tabla 7.6- Valores de los índices de Biscaye y Kübler para esmectitas e illitas del yacimiento de Somosaguas, respectivamente. Los valores del índice de Kübler están dados en mm para las condiciones técnicas de trabajo.

Por otra parte, a partir de análisis puntuales sobre partículas arcillosas con AEM-MET se han obtenido fórmulas cristaloquímicas que corresponden en la mayoría de los casos a esmectitas dioctaédricas (Figura 7.15), que se extienden según la posición de la carga prevalente entre los miembros extremos de la serie montmorillonita-beidellita (Anexo III). Se han observado algunas composiciones más difíciles de asociar a una fase dioctaédrica, por la elevada ocupación octaédrica que presentan, siendo similares a saponitas, aunque sus contenidos en Mg no llegan a ser tan elevados. Una de las características composicionales que mejor diferencia las montmorillonitas de las beidellitas en las muestras estudiadas es el elemento titanio, que tan solo se ha obtenido, en cantidades significativas, en las partículas de beidellita y pocas veces en las de montmorillonitas (salvo un par de excepciones no superan los 0,02 de Ti por celdilla). En cuanto a las beidellitas se observa que hay muchas variedades tanto en función del contenido en Fe como de los principales cationes interlaminares.

En algunos granos micáceos se han realizado en ME varios análisis puntuales de borde a centro, obteniendo análisis de “illita” en los bordes y de mica en las zonas más centrales. Por su parte, las partículas más finas presentan una zonación en las morfologías más parecidas a las micas, en las que el centro o uno de los extremos del cristal son de composición “illítica” y los bordes contrarios de composición beidellítica. En otras ocasiones, se ha observado una disminución del contenido en hierro y potasio, y un ligero aumento del calcio o del sodio, de centro a borde de algunas partículas de beidellita, obteniendo fórmulas cristaloquímicas de beidellitas ricas en Fe en el centro o

en un borde, y de beidellita de bajo contenido en Fe en otro borde. En algunos casos se han obtenido composiciones intermedias entre illita y esmectita que hemos asignado a minerales interestratificados. Es común la disminución de la carga de centro a borde de algunos cristales obteniendo una gran variedad de cargas laminares. Se ha observado que el nivel de carbonatos laminares tiene fórmulas cristaloquímicas de beidellitas, aunque el número de análisis debería ser mayor para poder inferir relaciones entre la formación de los carbonatos laminares y las arcillas, sí parece que son las fases claramente mayoritarias en este tipo de niveles carbonatados.

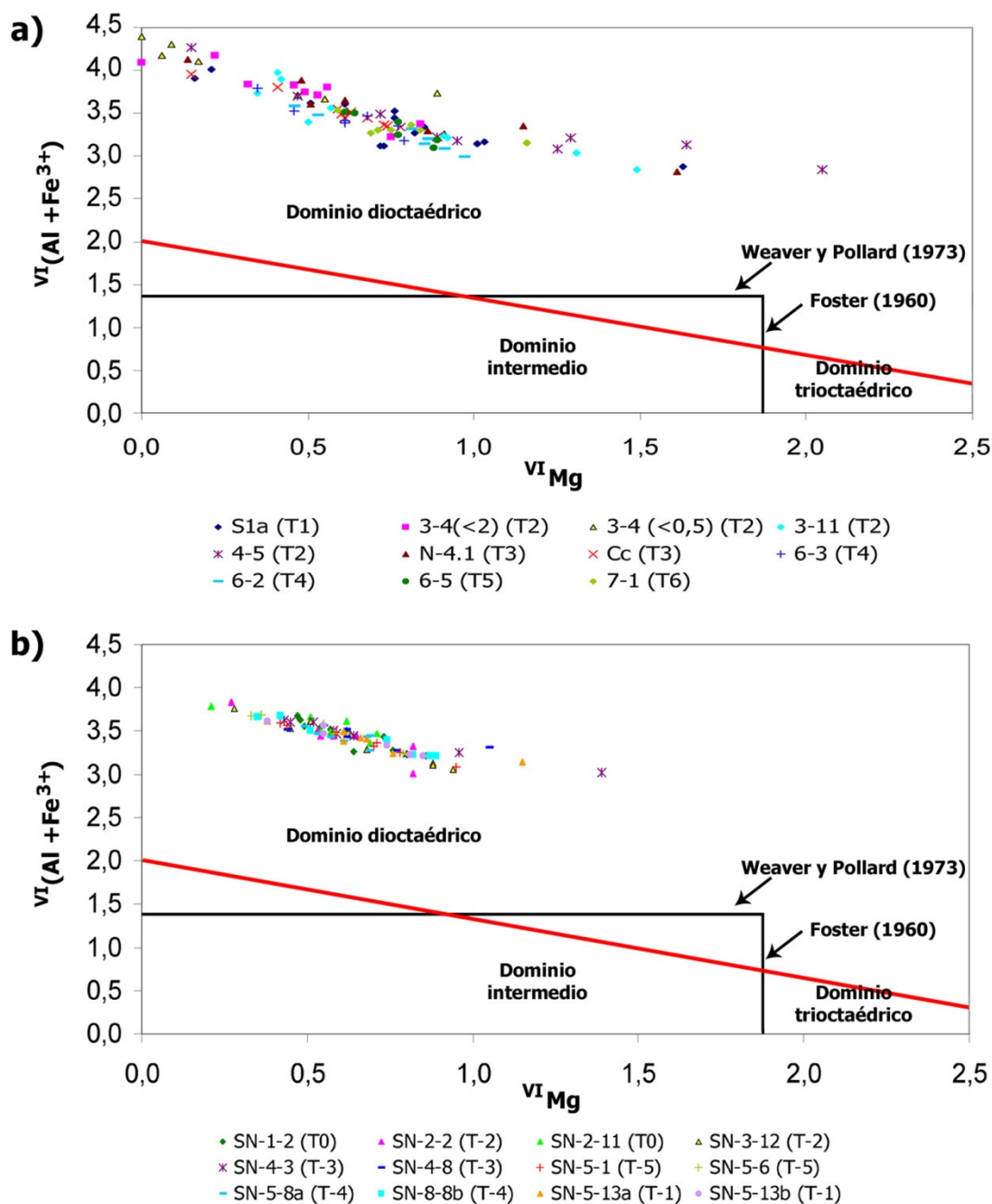


Figura 7.15- Diagramas de contenido en magnesio octaédrico frente a la suma de aluminio e hierro trivalente octaédricos para muestras de los afloramientos (a) y sondeos (b) de Somosaguas. Se muestran los dominios y los límites composicionales definidos por diversos autores.

La representación de las composiciones de las esmectitas y parte de las composiciones intermedias (¿interestratificados?) sobre un diagrama de los principales cationes octaédricos (Figura 7.15) muestra minerales principalmente dioctaédricos con algunas fases muy enriquecidas en Mg, aunque siguen siendo dioctaédricas. Todas las muestras presentan una amplia dispersión de sus composiciones por lo que no se observan tendencias destacables. La dispersión de los datos hacia composiciones más enriquecidas en Mg es mayor en los afloramientos que en los sondeos de Somosaguas.

7.4- Resultados del Área de Húmera

En este apartado se muestran los resultados mineralógicos, texturales y composicionales (cristaloquímicos) obtenidos del análisis de las muestras de arcillas de los diferentes niveles de los tramos definidos en el yacimiento de Húmera.

7.4.1- Composición Mineralógica de las Muestras

El análisis composicional se ha realizado mediante la cuantificación de los difractogramas tanto de polvo como de los agregados orientados. Esta metodología conlleva pequeños errores debidos a la calidad de las muestras, a la forma de preparar los agregados orientados y errores propios del operador, sin embargo, proporciona valores que al ser redondeados a la unidad en porcentaje son suficientemente fiables como para permitir las comparaciones entre muestras. Los datos de la mineralogía global y de las fracciones menores a 20, 2 y 0,5 micras están tabulados en la Tabla 7.7.

Lo primero que destaca es la presencia de cantidades significativas de calcita si se comparan con los resultados obtenidos para los cercanos yacimientos de Somosaguas. El contenido máximo de calcita, sin tener en cuenta los niveles carbonatados, se alcanza en el tramo H3, con valores cercanos al 35%. De nuevo, las comparaciones deben ser entre niveles con litologías similares, por lo tanto, se observa que las litologías más arenosas, que en este yacimiento son generalmente clasto-soportadas, presentan una ligerísima disminución del cuarzo y un aumento algo más evidente de los feldespatos. Los filosilicatos y la calcita de estos niveles varían sin una tendencia clara. Los niveles de carbonatos, siempre compuestos por más de un 80% de calcita, van siendo más puros hacia techo de la sucesión, es decir, contienen menores cantidades de detríticos y minerales de la arcilla. Finalmente los niveles pelíticos de techo de la secuencia son bastante diferentes entre sí y con respecto al resto de niveles.

Los principales minerales de la fracción arcilla (Tabla 7.7; Figura 7.16) son esmectitas, micas (illitas) y caolinita, con un claro predominio de la esmectita. También hay indicios de diferentes proporciones de interestratificados illita/esmectita (I/Sm) en varias muestras. Las esmectitas llegan a constituir más del 90% de algunas fracciones arcillosas, en especial, en las fracciones más finas. La mineralogía de la fracción arcilla, vista según los niveles muestreados en la sucesión sedimentaria, muestra variaciones en los contenidos de las diferentes fases presentes. Así, se observa un ligero aumento de las illitas, especialmente significativo en la fracción más fina, y disminución de las esmectitas hacia techo de la sucesión. La caolinita, mucho más heterogénea en su distribución, parece registrar un ligero aumento según se asciende en la sucesión, aunque siempre en valores inferiores al 10%. En cuanto a la distribución por fracciones se observan variaciones importantes de los diferentes minerales. Así, mientras que las esmectitas aumentan su concentración en las fracciones más finas, la illita y caolinita

presentan la tendencia contraria, Los niveles carbonatados son claramente ricos en esmectitas, aunque también se observa la tendencia general de disminución de esta fase y aumento de las illitas. Comparativamente parece que los niveles de Húmera son ligeramente más ricos en illitas y pobres en esmectitas que los de Somosaguas.

Tramo	Muestra	Litología	Mineralogía total				Mineralogía de arcillas								
			Q	F	Cc	Fl	< 20 micras			< 2 micras			< 0,5 micras		
							Sm	I	K	Sm	I	K	Sm	I	K
H4	NH4	Pelitas arenosas	14	15	7	64	74	22	4	76	20	4	77	20	3
H4	WH4	micáceas	16	15	6	63	73	25	2	77	22	1	79	19	2
H3	C3	Carbonatos laminares	3	2	87	8	70	22	8	76	17	7	79	15	6
H3	NH3	Pelitas arcillosas	8	7	34	51	60	33	7	66	27	7	69	28	3
H3	WH3		9	7	36	48	62	30	8	65	28	7	70	26	4
H2	NH2-3	Arenas clasto-	20	27	10	43	59	33	8	62	30	8	63	27	10
H2	WH2-3	soportadas	21	27	8	44	60	30	10	61	33	6	67	29	4
H2	C2	Carbonatos laminares	4	6	82	8	74	20	6	72	23	5	79	20	1
H2	NH2-2		23	25	7	45	77	21	2	75	23	2	80	17	3
H2	WH2-2		23	26	7	44	79	20	1	76	21	3	79	18	3
H2	NH2-1t	Arenas clasto-	23	24	4	49	77	20	3	84	14	2	92	7	1
H2	WH2-1t	soportadas	24	23	5	48	79	20	1	81	16	3	93	4	3
H2	NH2-1b		24	25	10	41	75	22	3	87	13	-	92	7	1
H2	WH2-1b		24	26	9	41	73	23	4	84	15	1	94	5	1
H1	C1	Carbonatos laminares	4	5	81	10	80	16	4	88	10	2	94	5	1
H1	NH1-2		24	25	10	41	84	15	1	91	9	-	95	5	-
H1	WH1-2	Arenas clasto-	23	23	11	43	82	18	-	90	9	1	94	6	-
H1	NH1-1	soportadas	22	18	7	53	80	18	2	79	20	1	86	13	1
H1	WH1-1		23	16	9	52	78	22	-	82	17	1	88	10	2

Tabla 7.7- Porcentajes de los minerales mayoritarios cuantificados en los diagramas de polvo, y de los minerales de la arcilla de cada fracción de los niveles muestreados en los afloramientos del yacimiento de Húmera. Q = Cuarzo, F = Feldespatos (Feldespato potásico más plagioclasa), Fl = Filosilicatos, Sm = Esmectitas, K = Caolinita, I = Illita.

En general, los difractogramas obtenidos presentan las reflexiones de la mica (illita) y la esmectita bien definidas, sin embargo, en algunos casos se observan “hombros” laterales en las reflexiones principales (001) de las esmectitas (Figura 7.16) que toman valores diferentes. En algunas muestras la reflexión principal aparece a espaciados cercanos a $d_{001} = 15 \text{ \AA}$ (14,657 a 14,867) y el hombro señala una fase menos abundante a espaciados cercanos a $d_{001} = 12 \text{ \AA}$ (12,217 a 12,372). Otros niveles presentan el caso contrario, con una potente reflexión principal a espaciados cercanos a $d_{001} = 12 \text{ \AA}$ (2,452 a 12,535), y el hombro debido a otra fase minoritaria a espaciados cercanos a $d_{001} = 15 \text{ \AA}$ (14,700 a 14,915).

La observación de dos tipos de reflexiones parece indicar la presencia de dos fases esmectíticas con características diferentes. Según Ferrage *et al.* (2005) las esmectitas saturadas en Na presentan la reflexión (001) a valores cercanos a 12,4 \AA , mientras que las saturadas en Ca lo presentan a 15 \AA , por lo que se deduce la presencia de esmectitas cuyos cationes de cambio principales son diferentes, unas mayoritariamente sódicas y otras mayoritariamente cálcicas. Al igual que en los difractogramas obtenidos para los sedimentos de Somosaguas también se observan signos de interestratificación en algunos difractogramas, aunque algo menos evidentes que en el caso de Somosaguas.

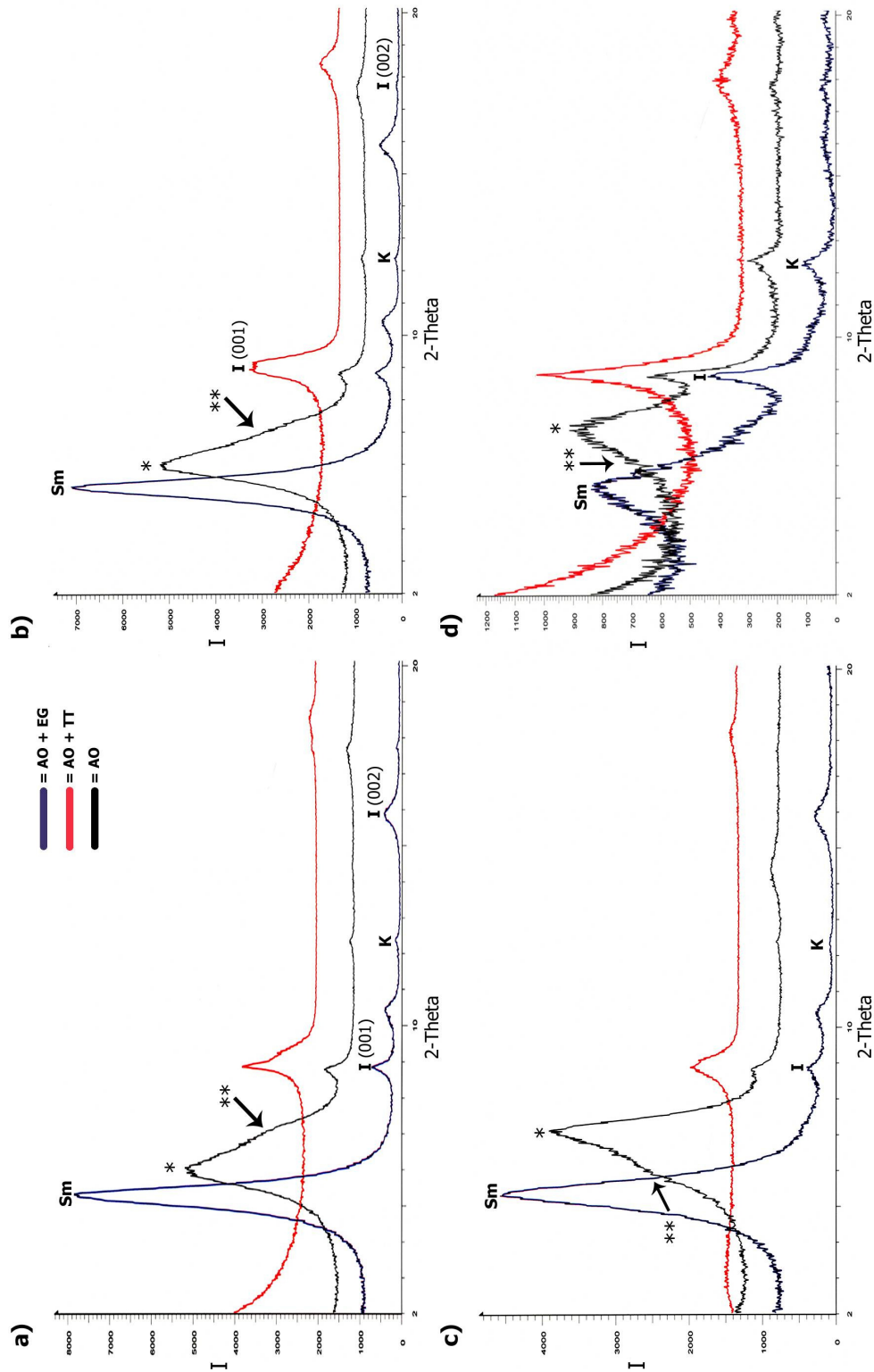


Figura 7.16- Difractogramas representativos de fracciones arcillosas del yacimiento de Húmera que muestran picos de los minerales mayoritarios e indicación de los dos valores que toma la reflexión (001) de la esmectita y los “hombros” (flecha negra) que indican la presencia de otra fase minoritaria. a) y b) muestran la reflexión principal (*) a espaciados de 14,657 y 14,867, y las secundarias (**) a 12,372 y 12,217, respectivamente. c) y d) muestran la reflexión principal (*) a espaciados de 12,452 y 12,535, y las secundarias (**) a 14,700 y 14,915, respectivamente. I = illita; Sm = esmectita; K = caolinita. Difractogramas pertenecientes a las muestras a) HW2-1b; b) HN2-1b; c) HN2-1t; d) HN2-3.

7.4.2- Características Microtexturales y Micromorfológicas

Se han podido estudiar las características microestructurales y las microfábricas mediante las imágenes obtenidas con MEB, así como las observaciones de partículas aisladas o formando pequeños dominios por medio de MET.

Las imágenes obtenidas con MEB muestran una situación general de las muestras con abundantes granos detríticos (cuarzos, feldespatos y micas, principalmente) en las que las esmectitas forman recubrimientos (*coatings*) sobre estos granos (Figura 7.17a). Parece que estos recubrimientos son menos continuos que los descritos en el yacimiento de Somosaguas (Figura 7.17b-c). Se observa que su crecimiento está favorecido por zonas de macla, fracturación o disolución. Estas relaciones de los minerales de la arcilla y las zonas de debilidad de los cristales ya han sido tratadas en los capítulos anteriores. Se distinguen granos de feldespatos muy fracturados, disueltos parcialmente y con crecimiento de esmectitas (Figura 7.17d,f). En ocasiones muestran *pits* de disolución más o menos poligonales en su superficie (Figura 7.17a). Las micas aparecen, en general, con las láminas abiertas y crecimiento de esmectitas sobre y entre éstas, mostrando signos de cierta fracturación por compactación mecánica (Figura 7.17e). Se observan partículas de esmectitas tanto pseudo-tabulares como formadas por agregados de finos velos formando *flakes* y texturas en panal de abeja. En el primer caso, los contactos son mayoritariamente C-C y texturas en escalera (Figura 7.17b-d), mientras que en el segundo caso, los contactos que prevalecen son B-C y C-C formando texturas en panal de abeja y rosetones (Figura 7.17f-h).

En general, la primera capa que recubre los granos detríticos es de esmectitas unidas mediante contactos C-C, mientras que por encima de éstas, las uniones pasan a ser de tipo B-B y B-C formando diferentes tipos de fábricas (Figura 7.17). El tipo de contactos que predominan y las fábricas que se obtienen son diferentes en los niveles más arenosos, y los más arcillosos. Así, las esmectitas presentes en las litologías más arenosas están tapizando parcialmente las superficies de los granos y rellenando poros, dando lugar a agregados en una textura poco ordenada y de alta microporosidad, por lo que son sedimentos menos densos y compactos que los de tramos más arcillosos.

En los niveles arenosos las texturas son típicamente en panal de abeja para las partículas más pequeñas y *cornflakes* para las partículas de mayor tamaño. Mientras que en las litologías más arcillosas las partículas de esmectitas se presentan generalmente en forma de *flakes* aislados con bordes alabeados, que se agrupan en agregados de partículas. En estas litologías la microestructura está relativamente ordenada y es compacta por lo que tienen baja porosidad (poros pequeños y poco conectados) y son sedimentos bastante densos. La Figura 7.18a-c refleja diversos aspectos de la textura general del tramo H3, en la que los carbonatos micríticos crecen conjuntamente con las arcillas, mostrando un aspecto más masivo y “sucio” que en el resto de niveles. Estas muestras están dominadas por la acción del crecimiento de películas carbonoso-calécicas (*films*) que parecen, al menos en parte, bioinducidos.

Las fábricas observadas son esencialmente agregadas y floculadas, sin embargo, en los niveles más arenosos la microestructura es en panal de abeja, esquelética o de una matriz continua, mientras que en los niveles arcillosos predominan la microestructura laminar o la floculada. Dado que la mayor parte de las uniones entre partículas arcillosas son de tipo B-B o B-C en las muestras de los tramos más arenosos, y que la

mayor proporción de estas arcillas son de composición esmectítica podemos deducir que han formado parte de suspensiones concentradas y viscosas, mientras que las que forman parte de los niveles más arcillosos y que presentan uniones C-C se habrán formado en suspensiones poco viscosas, con suficiente tiempo para su decantación.

Las observaciones con MEB han permitido obtener indicios de actividad microbiana por la existencia de pequeñas formas de túneles tanto en las zonas con películas carbonáticas como en las dominadas por partículas esmectíticas (Figura 7.18a-b) que han sido confirmados con la presencia de al menos dos tipos de restos calcificados. El primer tipo presenta una morfología alargada en forma de hilos, aunque ha sido imposible conseguir una imagen cercana nítida por problemas técnicos (Figura 7.18c,e). El segundo tipo aparece en forma de elementos esféricos u ovoidales que tienen recubrimiento de arcillas en algunas zonas (Figura 7.18f). Se observan posibles lugares de nucleación de materiales carbonatados bioinducidos entre las láminas de las micas (Figura 7.18d) y formando puentes de películas carbonáticas entre granos detríticos.

Las observaciones realizadas mediante MET han permitido examinar partículas micáceas muy alteradas con composiciones variables en el cristal (Figura 7.19a). Por otra parte, se han podido diferenciar varios tipos de morfologías de las partículas “individuales” de esmectitas. Las esmectitas de composición montmorillonita presentan morfologías de velos muy finos con los bordes alabeados, festoneados o rizados (Figura 7.19b), mientras que las esmectitas de composición beidellita o las de composiciones intermedias (casos especiales descritos en el siguiente apartado) son mucho más idiomorfas, laminares, tabulares pseudo-hexagonales o redondeados (Figura 7.19c).

Las imágenes d, e y f de la Figura 7.19 muestran partículas obtenidas del análisis de sedimentos del tramo H3. Se observa como hay partículas muy finas de esmectitas coexistiendo con partículas de calcita (creciendo por debajo de la montmorillonita en la Figura 7.19d). Por otra parte hay partículas que tienen un aspecto deshilachado en sus extremos y los análisis de estos “hilos” indican composiciones de carbonato cálcico, que parece estar “intercrecido” con las arcillas (Figura 7.19e). Estos “hilos” de calcita aparecen en algunas ocasiones separados y con morfología entretejida (Figura 7.19f).

7.4.3- Características Cristaloquímicas

El estudio de las características cristaloquímicas de las partículas arcillosas se ha realizado a partir de varios análisis para conocer: 1) de forma estadística la distribución de minerales di y trioctaédricos, mediante el análisis de la reflexión (060); 2) el grado de cristalinidad de las diferentes fases minerales (filosilicatos) presentes en las muestras, mediante el cálculo de los índices de Kübler y Biscaye; 3) la composición de los filosilicatos más gruesos mediante el ajuste de fórmulas cristaloquímicas de partículas de micas obtenidas a partir de microanálisis realizados con ME; 4) la composición de los filosilicatos más finos mediante el ajuste de fórmulas cristaloquímicas obtenidas a partir de análisis puntuales sobre partículas arcillosas con AEM-MET; 5) las variaciones internas de los cristales (alteraciones o transformaciones) y las variaciones composicionales entre fases minerales que se producen en el área de estudio.

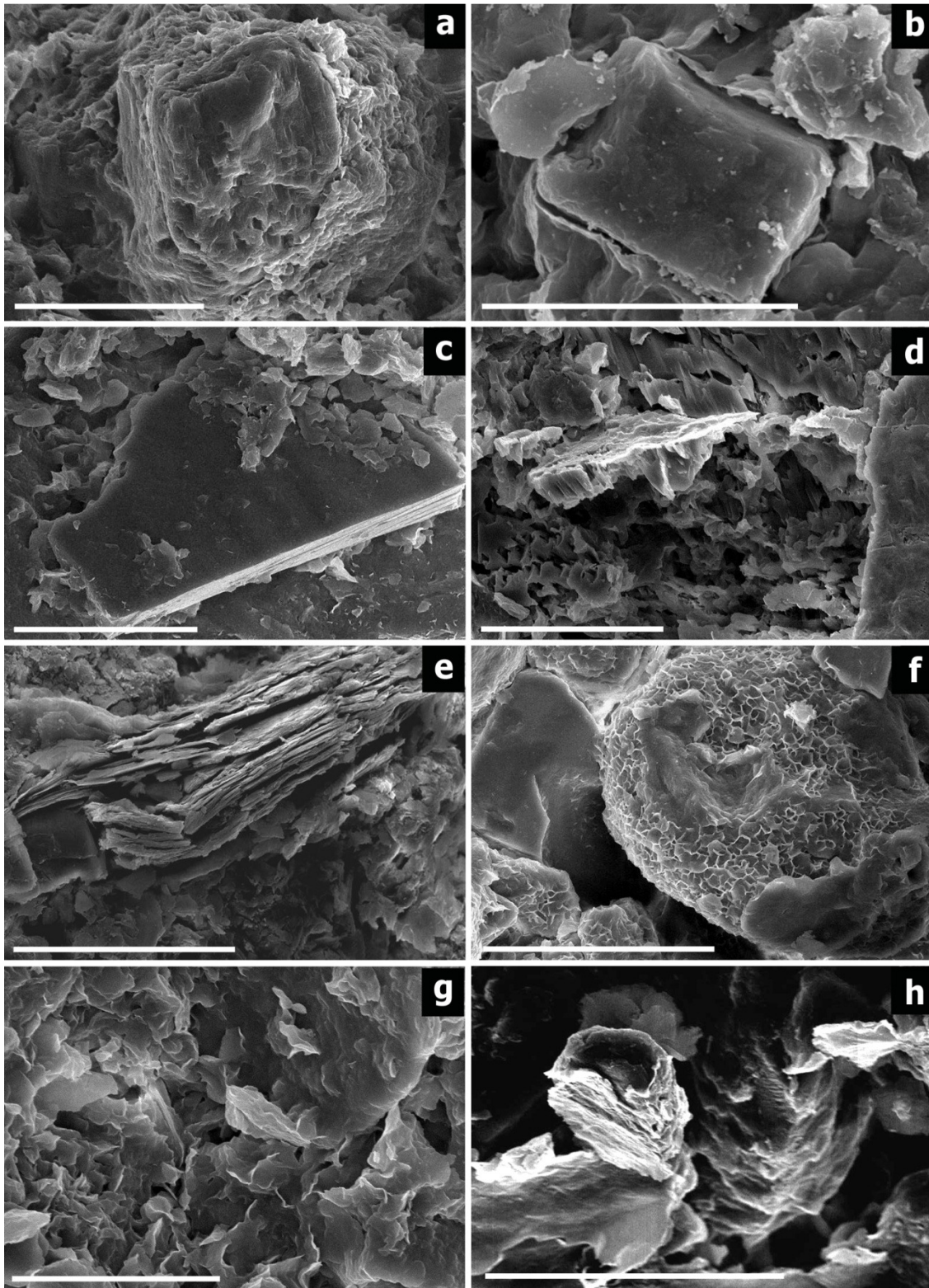


Figura 7.17- Microfotografías con MEB de muestras del yacimiento de Húmera: a) grano de feldespato con recubrimiento de arcillas; b-c) granos de cuarzos con esmectitas tabulares y en forma de velos; d) disolución extrema de feldespatos con crecimiento de esmectitas en sus bordes; e) mica con las láminas separadas y fracturada por compactación; f) grano de feldespato disuelto con recubrimiento de esmectitas en panal de abeja por encima; g-h) morfologías de esmectitas en *flakes* y delicados velos que forman rosetones y rellenan poros. Las barras de escala indican 25 micras en las imágenes a y g, y 50 micras en el resto de imágenes.

El análisis de la posición de la reflexión (060) se ha realizado tanto en el difractograma de RX de la muestra total como en difractogramas de muestras en polvo (no orientados) de la fracción menor de 5 micras. Los datos de la posición de la reflexión (060) de cada nivel analizado (dado su parecido solo se han analizado algunos niveles de la columna Oeste) están tabulados en la Tabla 7.8. En general, en las muestras de polvo las reflexiones son más diversas y aparecen tanto a valores típicos de minerales trioctédricos (1,52-1,53) como de minerales dioctaédricos (1,49-1,50). Además, algunos difractogramas presentan reflexiones debidas a fases muy ricas en hierro (1,51-1,52) o incluso una banda continua entre valores de 1,49 a 1,53. En cambio, en las fracciones menores de 5 micras, son claramente mayoritarios las muestras con solo una reflexión en valores de 1,49-1,50 o aquellos que presentan una potente reflexión a 1,49 y reflexiones mucho menos intensas en valores indicativos de la presencia de minerales trioctaédricos. Destaca el tramo H3 por presentar la reflexión más intensa en valores típicos de fases enriquecidas en hierro, mientras que el resto de tramos presentan esta reflexión con mucha menor intensidad.

Los resultados de la medida de los índices de cristalinidad para esmectitas y micas (illitas), mediante los índices de Biscaye y Kübler, respectivamente, aparecen tabulados en la Tabla 7.9. También se ha realizado este estudio sobre los difractogramas de la muestra menor de 5 micras, con el fin de observar posibles variaciones relacionadas con el tamaño de las partículas. Se observa que en todas las muestras hay una buena cristalinidad de las esmectitas y moderada a pobre en las micas. Además, es clara la tendencia a aumentar de ambos índices con la disminución del tamaño de partícula, por lo que aumenta la cristalinidad de las esmectitas y disminuye la de las micas en las partículas más finas. Con respecto a los valores obtenidos en los análisis de los sedimentos de Somosaguas se observa una ligera menor cristalinidad de las esmectitas.

Del estudio composicional, mediante ME, de las partículas de mica más gruesas, separadas manualmente, se han obtenido composiciones con cargas de micas e illitas con ocupaciones octaédricas variables (tanto dioctaédricas como trioctaédricas, ver Anexo III).

Las micas trioctaédricas se corresponden con biotitas de amplia variabilidad composicional. En estos minerales el potasio es prácticamente el único catión interlamilar y presentan cargas laminares diferentes en función del grado de alteración que han alcanzado. Incluso se han observado cargas muy bajas (1,59) típicas de vermiculitas, aunque como ya se ha indicado previamente, los rayos X no han distinguido la presencia de vermiculita en las muestras. De hecho, se han observado todos los posibles valores intermedios entre las cargas típicas de micas y vermiculitas. Al mismo tiempo, estos cristales de biotita presentan una importante variación del contenido en hierro, magnesio y aluminio, tanto entre partículas diferentes, como de borde a centro de una misma partícula.

Las micas dioctaédricas se corresponden con moscovitas que también presentan unas importantes variaciones composicionales, principalmente relacionadas con el contenido del aluminio tetraédrico. Esta variación del aluminio origina fórmulas típicas de moscovitas y de micas fengíticas (baja carga tetraédrica), con todos los posibles estadios intermedios.

Muestra	Posición de la reflexión (060) - Polvo	Posición de la reflexión (060) - < 5 micras	Interpretación
HN4	Intenso-varios – 1,49-1,50 Mediano – 1,52 Poco Intensos – 1,51; 1,53	Intenso – 1,49 Poco Intensos – 1,52-1,53	Principalmente dioctaédricos
HW4	Intenso-varios – 1,49-1,50 Mediano – 1,52 Poco Intensos – 1,51-1,53	Intenso – 1,49 Poco Intensos – 1,52-1,53	Principalmente dioctaédricos
HN3	Intenso – 1,52 Mediano – 1,50 Poco Intenso – 1,49	Intenso – 1,52 Poco Intenso – 1,49-1,50	Fases intermedias entre di- trioctaédricos y ricos en hierro
HW3	Intenso – 1,52 Mediano – 1,50 Poco Intenso – 1,49	Intenso – 1,52 Poco Intenso – 1,49-1,50	Fases intermedias entre di- trioctaédricos y ricos en hierro
HN2-3	Intenso – 1,49 casi continua hasta Medianos – 1,52-1,53	Intenso – 1,49 Poco Intenso – 1,52-1,53	Transformaciones entre fases tri- y dioctaédricas
HW2-3	Intenso – 1,49 casi continua hasta Medianos – 1,52-1,53	Intenso – 1,49 Poco Intenso – 1,52-1,53	Transformaciones entre fases tri- y dioctaédricas
HN2-2	Intenso – 1,49; 1,50; 1,52 Medianos – 1,51; 1,53	Intensos – 1,49; 1,50 Poco Intenso – 1,53	Principalmente dioctaédricas y fases ricas en hierro
HN2-1t	Intensos – 1,49-1,50 Poco Intenso – 1,53	Intenso – 1,49	Principalmente dioctaédricos
HN2-1b	Muy Intenso – 1,49 continuidad hacia los Medianos – 1,51; 1,52; 1,53	Intenso – 1,49 Poco Intenso – 1,53	Dioctaédricos e indicios de transformaciones entre fases
HW2-1b	Muy Intenso – 1,49 continuidad hacia los Medianos – 1,51; 1,52; 1,53	Intenso – 1,49 Poco Intenso – 1,53	Dioctaédricos e indicios de transformaciones entre fases
HN1-2	Muy Intenso – 1,49-1,50 Poco Intenso – 1,53	Intenso – 1,49 Muy Poco Intenso – 1,53	Principalmente dioctaédricos
HN1-1	Intensos – 1,49-1,50 Medianos – 1,53-1,54 Poco Intensos – 1,52	Intenso – 1,49 Poco Intenso – 1,53	Tanto dioctaédricos como trioctaédricos

Tabla 7.8- valores de la posición de la reflexión (060) de muestras de polvo total y de la fracción menor de 5 micras del yacimiento de Húmera.

A partir de análisis puntuales sobre partículas arcillosas con AEM-MET se han obtenido fórmulas cristaloquímicas que corresponden en la mayoría de los casos a esmectitas dioctaédricas, que se extienden según la posición de la carga prevalente entre los miembros extremos de la serie montmorillonita-beidellita (Anexo III). Se han observado algunas composiciones más difíciles de asociar a una fase dioctaédrica, por la elevada ocupación octaédrica que tienen, siendo similares a saponitas (esmectitas trioctaédricas). Otras partículas muestran una ocupación octaédrica similar a la tetraédrica y por lo tanto son intermedias entre beidellitas y montmorillonitas. Una de las características composicionales que mejor diferencia las montmorillonitas de las beidellitas en las muestras estudiadas es el elemento titanio, que tan solo se ha obtenido, en cantidades significativas, en las partículas de beidellita (no superan los 0,02 de Ti por celdilla en montmorillonitas). En cuanto a las beidellitas, se observa que hay muchas variedades en función del contenido en Fe y de los principales cationes interlaminares.

En algunas partículas micáceas se han realizado varios análisis puntuales de borde a centro de la partícula, obteniendo análisis de “illita” en unas zonas y de mica en otras. Por su parte, las partículas más finas de morfologías similares a las micas presentan una zonación, en la que el centro o uno de los extremos del cristal es de composición “illítica” y los bordes contrarios de composición beidellítica (tanto ricas como normales

en su contenido en hierro). En otras ocasiones se ha observado una disminución del contenido en hierro y potasio y un ligero aumento del calcio de centro a borde de algunas partículas de beidellita, obteniendo fórmulas cristaloquímicas de beidellitas ricas en Fe en el centro o en un borde y de beidellita de bajo contenido en Fe en otro borde. En algunos casos se han obtenido composiciones intermedias entre illita y esmectita que hemos asignado a minerales interestratificados. Es común la disminución de la carga de centro a borde de algunos cristales obteniendo una gran variedad de cargas laminares. Las composiciones tipo “saponita” se han obtenido en partículas con morfologías pseudo-tabulares y que en otras zonas del cristal proporcionaron fórmulas de beidellitas ricas en hierro.

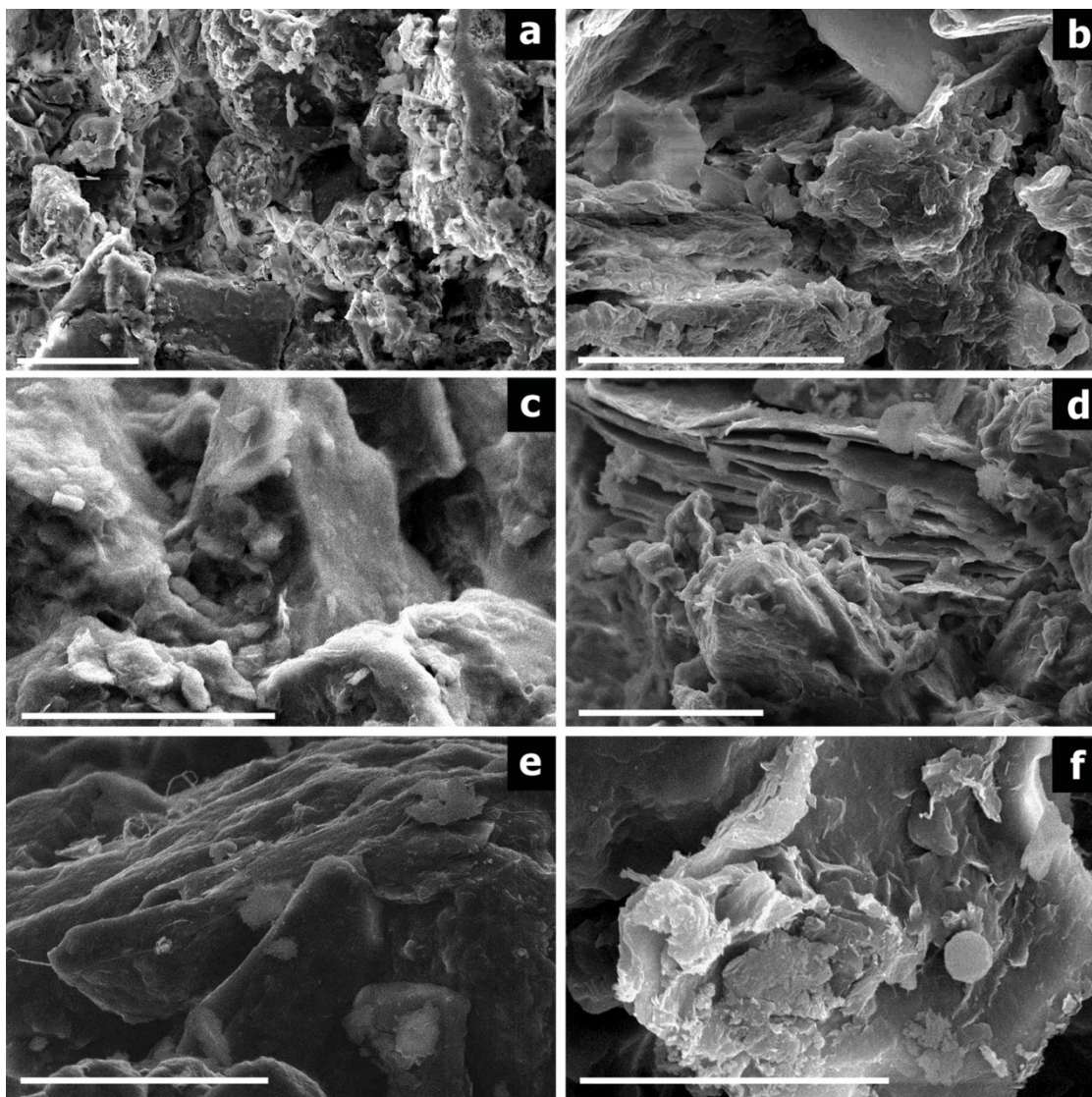


Figura 7.18- Aspecto de las muestras tomadas en el tramo H3: a) aspecto general de la muestra con varios “túneles” en el centro de la imagen; b) agregaciones de partículas arcillosas mostrando forma de poros (esquina inferior derecha) y uniones C-C sobre granos detríticos; c) aspecto de películas carbonáticas recubriendo granos detríticos y actuando de puentes entre granos; d) mica con las láminas abiertas y crecimiento de materiales calcítico-carbonosos entre ellas aprovechando lugares de nucleación; e) hilos de materiales bioinducidos; f) formas pseudo-esféricas bioinducidas sobre una capa de esmectitas y calcita. Las barras de escala indican 50 micras en todas las imágenes menos en la f que indican 25 micras.

La representación de las composiciones de las esmectitas y parte de las composiciones intermedias (¿interestratificados?) sobre un diagrama de los principales cationes octaédricos (Figura 7.20) muestra minerales principalmente dioctaédricos con algunas fases muy enriquecidas en Mg, aunque siguen siendo dioctaédricas. Todas las muestras presentan una amplia dispersión de sus composiciones por lo que no se observan tendencias destacables. La dispersión de los datos hacia composiciones más enriquecidas en Mg es mayor que la observada en los yacimientos de Somosaguas.

Muestra	Índice de Kübler		Índice de Biscaye	
	< 20 μm	< 5 μm	< 20 μm	< 5 μm
HW4	7	8	0,94	0,96
HN4	7	8	0,94	0,95
HW3	10	12	0,94	0,94
HN3	9	12	0,95	0,94
HW2-3	7	8	0,90	0,93
HN2-3	8	8	0,90	0,92
HW2-2	8	8	0,92	0,96
HN2-2	8	9	0,92	0,94
HW2-1t	9	10	0,94	0,95
HN2-1t	8	10	0,95	0,95
HW2-1b	8	9	0,96	0,96
HN2-1b	7	9	0,94	0,96
HW1-2	8	9	0,94	0,95
HN1-2	9	11	0,93	0,95
HW1-1	9	10	0,95	0,96
HN1-1	9	9	0,94	0,97

Tabla 7.9- Valores de los índices de Biscaye y Kübler para esmectitas e illitas del yacimiento de Húmera, respectivamente. Los valores del índice de Kübler están dados en mm para las condiciones técnicas de trabajo.

7.5- Discusión y Conclusiones

7.5.1- Características Genéticas y Evolución Cristaloquímica

El estudio de los granos de micas separados manualmente y de los minerales de la arcilla de los materiales detríticos del área de Somosaguas-Húmera pone de manifiesto que las partículas micáceas muestran composiciones similares a las del área fuente (Sierra de Guadarrama, Sistema Central; Aparicio *et al.*, 1980; Huertas Coronel, 1990; Villaseca y Barbero, 1994, entre otros), estando presentes tanto las micas “blancas” como las “negras”. La interpretación de los difractogramas de rayos X, así como la observación de las imágenes de texturas y los análisis cristaloquímicos permiten asegurar que en los depósitos estudiados hay una mezcla de minerales detríticos (heredados), transformados y neoformados. Las alteraciones conducentes a las transformaciones minerales habrían empezado desde el mismo momento en que las micas hubiesen quedado expuestas a la acción de aguas meteóricas o la atmósfera en un regolito del área fuente, sin embargo, parece que una parte importante de los procesos de transformación han tenido lugar en ambientes edáficos.

Los minerales heredados son el cuarzo, los feldespatos, los minerales densos, las micas y la caolinita. Además, como se comentó en el capítulo anterior, hay indicios de presencia de clorita en las muestras vistas con MOLT aunque en ninguno de los difractogramas analizados aparece una reflexión clara que muestre la presencia de este mineral. En todo caso, sería otra de las fases heredadas del área fuente. Como se ha comentado en el capítulo 5, se observan claros signos de disolución de feldespatos

como resultado de procesos de alteración e hidrólisis tanto en el área fuente como durante el transporte y en la propia cuenca sedimentaria. Estos procesos serían los responsables del lavado de los álcalis (Na, K, Ca) y como parte del proceso se formarían las caolinitas, principalmente en el área fuente, sin embargo, como ya se ha comentado, las morfologías de disolución extremas de algunos feldespatos, indican que este proceso ha seguido hasta la propia zona de estudio, aunque no se observan signos de formación de caolinitas en las muestras estudiadas. Según Wilson (2004) las plagioclasas muestran una mayor alteración que los feldespatos potásicos debido a su menor estabilidad en condiciones exógenas. Los estudios de Nixon (1979) mostraron que los feldespatos sufren disolución parcial en lugares energéticamente favorables, como los planos de macla, los defectos cristalinos o las fracturas. El mecanismo y la secuencia de transformación de feldespatos en minerales de la arcilla están controlados por procesos de disolución-precipitación (Tsuzuki y Kawabe, 1983; Drief *et al.*, 2001).

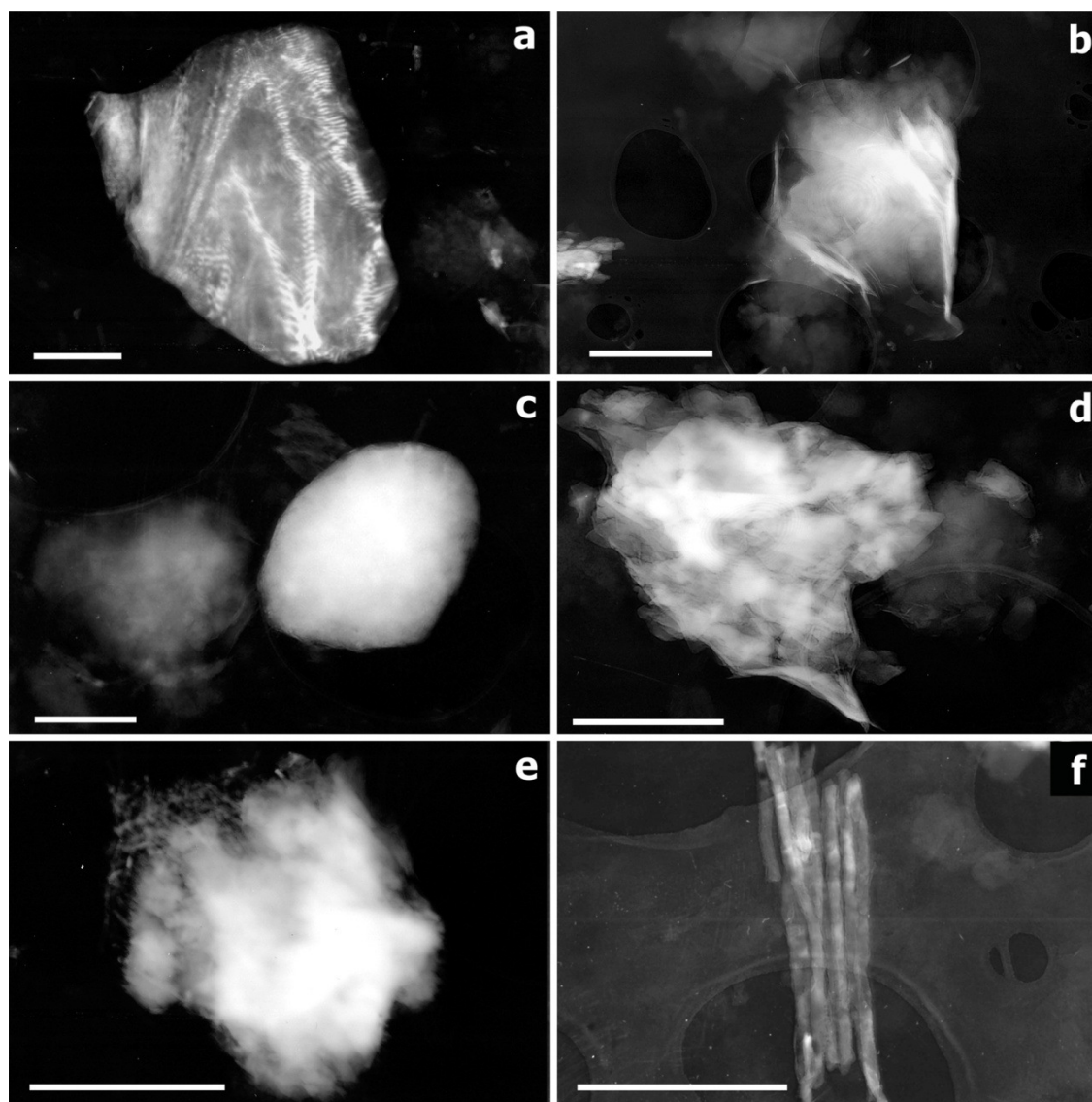


Figura 7.19- Imágenes de MET de minerales del yacimiento de Húmera: a) partícula de composición illítica-beidellítica; b) partícula de montmorillonita en forma de fino velo con los bordes alabeados y rizados; c) partícula de beidellita de baja carga con los bordes disueltos y bastante redondeada; d) partículas de esmectitas con carbonatos cálcicos por debajo; e) morfología “deshilachada” de intercrecimientos de arcillas y fases calcíticas en forma de hilos; f) túbulos alargados de composición calcítica con morfologías entretejidas. Las barras de escala indican 500 nm.

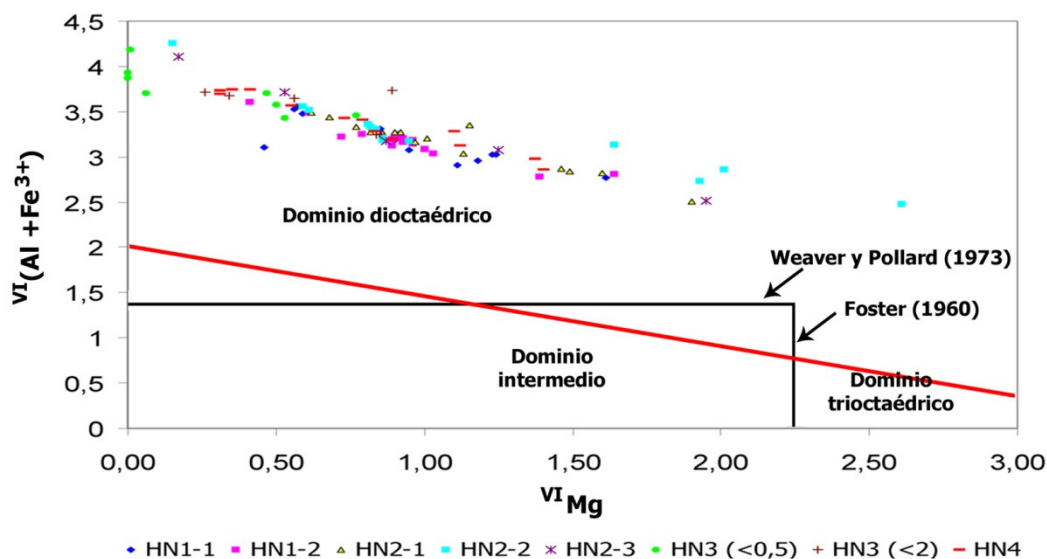


Figura 7.20- Diagramas binarios que enfrentan el contenido en magnesio octaédrico y la suma de aluminio y hierro trivalente octaédricos para muestras de los afloramientos del yacimiento de Húmera. Se muestran los dominios y los límites composicionales definidos por diversos autores.

El estudio detallado de las partículas micáceas mediante ME y MET revela que en la mayoría de los casos éstas se han degradado originando cargas de illitas o vermiculitas, aunque tan solo se reconocen reflexiones de illitas en los difractogramas. Este proceso de pérdida de carga ha sido observado en trabajos previos (por ejemplo Wilson, 2004). Este proceso podría continuar con la entrada de calcio o sodio en el espacio interlaminar, terminando por generar esmectitas dioctaédricas o raramente caolinita. Como se puede observar en las Figuras 7.21 y 7.22, al representar los valores de la carga laminar frente a la suma de los cationes octaédricos, se obtienen dos líneas principales de alteración y transformación mineral. Una de estas tendencias muestra la transición entre micas dioctaédricas (moscovitas y fengitas), illitas dioctaédricas, interestratificados I/Sm y beidellitas (poco férricas o con baja carga, en general). La otra tendencia muestra la transformación de micas trioctaédricas (biotitas) en beidellitas de cargas y contenidos en Fe octaédrico muy variables, incluso con ocupaciones octaédricas similares a las saponitas (esmectitas trioctaédricas) en el caso del yacimiento de Húmera. Por lo tanto, hay minerales dioctaédricos y trioctaédricos, pero también casos intermedios, y una variación continua de la carga interlaminar de los minerales de la arcilla. Así, hay fases que hemos denominado micas o illitas di-trioctaédricas por ocupar posiciones intermedias entre las micas o illitas claramente dioctaédricas y las trioctaédricas. La observación de la zona en la que aparecen las reflexiones (060) permitió observar casos en los que se generaban múltiples reflexiones tomando forma de una banda casi continua (Figura 7.14d), siendo indicativo de relación genética entre las diferentes fases presentes. En las fracciones más gruesas predominan las micas, tanto dioctaédricas como trioctaédricas, mientras que es en las fracciones más finas donde se concentran los minerales transformados y neoformados (esmectitas dioctaédricas). Este hecho se observa estadísticamente en los valores de la reflexión (060) obtenidos en diversas muestras de los dos yacimientos, ya que, en general, presentan reflexiones tanto de dioctaédricos como de trioctaédricos en las fracciones más gruesas, reduciéndose a reflexiones en torno a 1,49 o 1,50 en las fracciones finas, indicando la presencia de fases única o mayoritariamente dioctaédricas. Las fases ricas en Fe observadas en los difractogramas corresponderían a las definidas como beidellitas ricas en Fe.

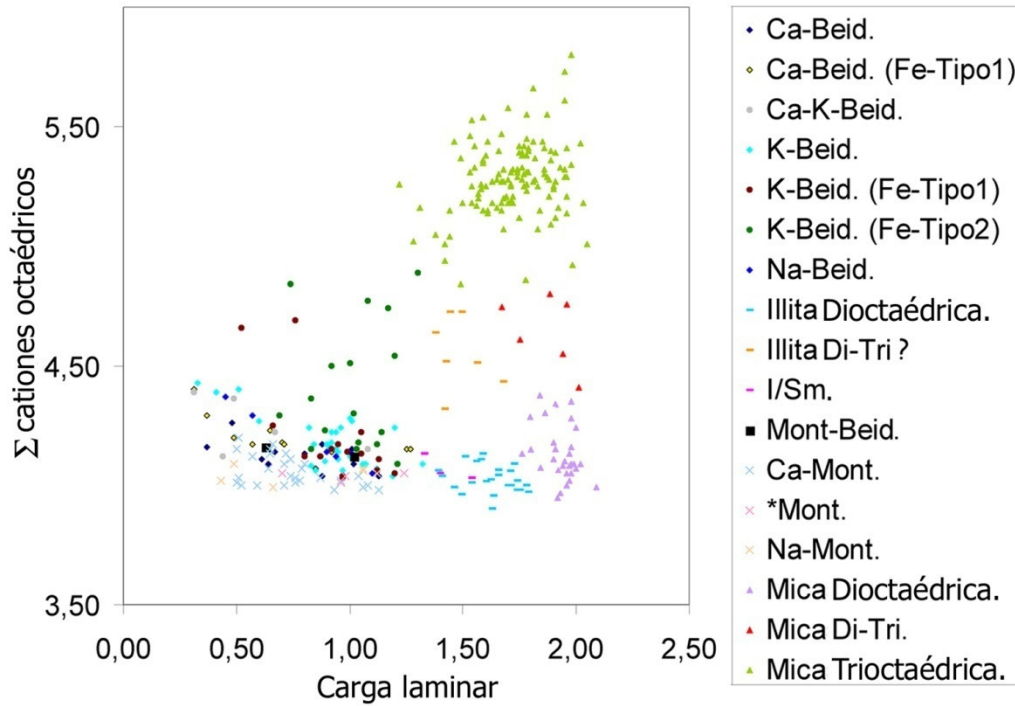


Figura 7.21- Diagrama que muestra la variación de la carga laminar frente al sumatorio de los cationes en posición octaédrica de los análisis químicos obtenidos con AEM-MET y ME de muestras del yacimiento de Somosaguas (En beidellitas y montmorillonitas se indica el catión interlamilar y en su caso el tipo según contenido de hierro). Beid. = beidellita; Mont. = montmorillonita; I/Sm = interestratificado; * = varios cationes interlaminares con proporciones similares.

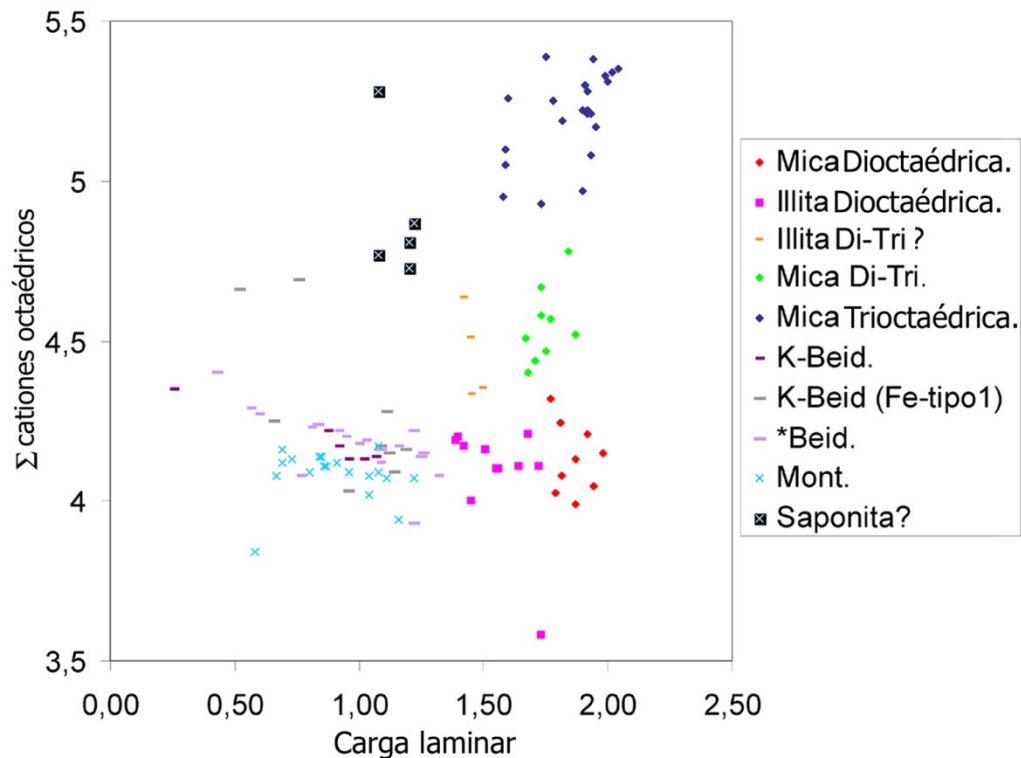


Figura 7.22- Diagrama que muestra la variación de la carga laminar frente al sumatorio de los cationes en posición octaédrica de los análisis químicos obtenidos con AEM-MET y ME de muestras del yacimiento de Húmera. La leyenda es equivalente al pie de la figura 7.21.

En los estadios iniciales de la alteración el potasio interlaminar es parcialmente lavado, generando una carga de illita en las partículas micáceas; el hierro se oxida al estado férrico y se produce un desajuste en la carga, de forma similar a la descrita por Wilson (1975). El potasio de estas partículas micáceas con carga de illita es reemplazado por cationes hidratados que generan una ligera reordenación de la estructura 2:1 de la “mica” a través de un proceso de disolución-precipitación (Banfield y Eggleton, 1988; Drits *et al.*, 1996; Drief y Nieto, 2000). Este proceso de disolución se puede observar en las imágenes de partículas de composición intermedia entre illita y beidellitas obtenidas mediante MET (Figuras 7.13h y 7.19c). Por lo tanto, se produce una aceleración del proceso de separación de las láminas de las micas y se genera su fragmentación por zonas de debilidad (Ahn y Peacor, 1986), dando como resultado un proceso de exfoliación y rotura que genera partículas cada vez más finas (por ejemplo Figura 7.17e). Durante estos procesos de transformaciones son comunes fases intermedias en forma de interestratificados I/Sm (Klimentidis, 1986; Veblen *et al.*, 1990; Velde, 2001), que en las muestras estudiadas se distinguen en los difractogramas, y cuya presencia se infiere por la existencia de fórmulas cristal químicas con características intermedias entre fases dioctaédricas y fases trioctaédricas (Figuras 7.7 y 7.21).

Los minerales transformados y neoformados son esencialmente esmectitas dioctaédricas, lo que indica aportes enriquecidos en aluminio, y por lo tanto áreas fuente ricas en este elemento. Las esmectitas pertenecen a dos grupos, las montmorillonitas con carga principalmente octaédrica y beidellitas con carga principalmente tetraédrica. Las montmorillonitas muestran abundante Al octaédrico y sustituciones tetraédricas limitadas, siendo el Ca el catión de cambio principal en las muestras de la mayoría de tramos de Somosaguas, y Ca y Na en las muestras de Húmera y algunos niveles de los tramos inferiores de Somosaguas (sondeos). Los difractogramas obtenidos en el yacimiento de Húmera muestran que las esmectitas presentes varían sus proporciones siendo, en unas ocasiones, mayoritarios los sódicos y en otras los cálcicos, sin embargo, no se observa una tendencia clara de esta variación. En todas las muestras se observan restos de potasio en cantidades variables. Características como la formación de texturas de “castillo de naipes” o “*flakes*” y la morfología de las partículas de montmorillonita de finos velos con bordes festonados, así como el *coating* en “panal de abeja” son indicativas de la formación “*in situ*” de esta fase, por lo que la interpretación debe ser como mineral de neoformación a partir de cationes en disolución y sobre granos de feldespatos y micas.

Las beidellitas muestran una variación composicional muy amplia, desde términos de baja carga y en general poco Fe, hasta términos con cargas elevadas y en general ricas en Fe. Los cristales de beidellita más ricos en Fe presentan morfologías (Figuras 7.13e y 7.19a) y composiciones (ricos en Mg y Ti, y K como principal catión interlaminar) que están relacionadas con las micas (biotitas). Las fases menos férricas podrían corresponder a estadios de alteración más avanzados, en los que las beidellitas ricas en Fe fuesen perdiendo este Fe, o podrían provenir de la alteración de micas dioctaédricas y plagioclasas (Proust y Velde, 1978). La mayoría de las beidellitas ricas en Fe han sido descritas como productos de alteración de micas en suelos, de forma que en el proceso de transformación primero se generan micas con cargas de vermiculitas, para posteriormente pasar a beidellitas ricas en Fe, preservando su carga tetraédrica (Badraoui *et al.*, 1987; Badraoui y Bloom, 1990, entre otros). En MET se observa que la mayoría de las partículas de beidellita ricas en Fe tienen formas tabulares (similares a

las de las micas) o redondeadas, con los bordes corroídos o disueltos, que son indicativos de los procesos de transformación de micas en beidellitas. Los cristales más empobrecidos en Fe son semi-transparentes y, en general, presentan hábitos idiomorfos. Muchas de las partículas analizadas muestran una zonación composicional que presenta zonas centrales enriquecidas en Fe y bordes empobrecidos en este elemento, indicando que hay un lavado del Fe de las beidellitas pasando de las ricas a las pobres en este elemento durante el proceso de alteración. Este proceso causa cierta pérdida de carga, dando lugar a las beidellitas de muy baja carga observadas en los análisis químicos. El Ti es un elemento presente en todas las beidellitas analizadas reforzando la idea de un origen a partir de minerales ferromagnesianos (biotita), mientras que o no está presente o aparece en cantidades mínimas en las partículas de composición montmorillonítica, lo que también concuerda con su origen neoformado.

Otro dato que refuerza la secuencia de alteración explicada es que las composiciones de esmectitas obtenidas en los análisis con ME son principalmente de beidellitas enriquecidas en Fe, mientras que los análisis de las partículas más finas con MET indican composiciones más variables, y muchos cristales empobrecidos en Fe. En general, las montmorillonitas son comunes en las bentonitas, mientras que las beidellitas suelen aparecer en suelos como resultado de alteración y transformación de micas detríticas (Güven, 1988). Este mismo autor ha observado que existen esmectitas con una carga casi igual entre la montmorillonita y la beidellita, como algunos de los análisis obtenidos en este estudio, por lo que transformaciones entre fases de carga tetraédrica y octaédrica en las esmectitas tienen que ser tenidos en cuenta (Righi *et al.*, 1998) al igual que la posibilidad de interestratificados con dos tipos de láminas esmectíticas. Según Righi *et al.* (1995) en ambientes con carbonatos cálcicos asociados a las arcillas se pueden inducir aumentos del pH, lo suficientemente importantes como para generar cierta desilicificación de las montmorillonitas (Halitim *et al.*, 1983) dando lugar a las sustituciones tetraédricas y por lo tanto formando beidellitas. Por otra parte Righi *et al.* (1995) han descrito procesos de transformación de beidellitas de baja carga en beidellitas de elevada carga a través de la acción pedogénica, en ambientes de pH básico (aproximadamente 8-9) y soluciones concentradas por procesos de evaporación. Esta observación y las condiciones climáticas deducidas para el área de estudio pueden, por lo tanto, indicar el paso de al menos parte de las beidellitas de baja carga a beidellitas de alta carga en el área de estudio, siendo posible esta variación por reorganización en estado sólido y no siendo imprescindible el proceso de disolución-precipitación. Según Proust y Velde (1978) es común el proceso de alteración de las plagioclasas a beidellitas a través de una fase intermedia, como procesos de desestabilización de los minerales primarios. Estos autores indican que las beidellitas ricas en Fe provendrían de fases ferromagnesianas y las menos ricas en Fe de las plagioclasas, pudiendo estar presentes ambas en una misma zona. También, observan que los contenidos en Fe, Na y Al de estas fases son altamente variables, como ocurre en las muestras evaluadas en esta Tesis.

Todas las observaciones previas permiten inferir un escenario complejo de transformaciones minerales sucedidas desde las alteritas (materiales alterados sobre la roca original que no han experimentado procesos de transporte importantes) formadas sobre los granitoides y gneises del área fuente hasta los propios sedimentos del área de estudio, con múltiples fases de formación de suelos incipientes y su erosión y transporte dando lugar a reacciones mineralógicas, en ocasiones inversas, en función de las condiciones de drenaje, pH, presencia de diferentes cationes y su concentración, etc. De

una forma simple podemos decir que se concluyen procesos de degradación, en los que micas y plagioclasas, principalmente, han sufrido transformación o disolución generando minerales de la arcilla. Inicialmente micas trioctaédricas de tamaños grandes (1-2 mm en algunos granos observados en el área de estudio y mayores en zonas más cercanas al área fuente) iniciarían un proceso de exfoliación y fracturación por zonas de mayor debilidad (Banfield y Eggleton, 1988). El K interlaminar sería sustituido por cationes hidratados (Drief y Nieto, 2000) y el Fe^{2+} se oxidaría a Fe^{3+} (Gilkes *et al.*, 1972), dando lugar a micas de menor carga (cargas de illitas o de vermiculitas). Según prosiguiese el proceso la carga total decrecería (Wilson, 1975), hasta que se formasen beidellitas ricas en Fe, y en ocasiones de elevada carga, generándose pequeñas variaciones en la estructura micácea y la carga tetraédrica (Gilkes *et al.*, 1972). Posteriormente, estas partículas de tamaño más pequeño y mayor superficie específica se alteran a mayor velocidad a fases beidellíticas empobrecidas en Fe, para tal vez como últimos productos obtenerse beidellitas de muy bajas cargas. Sin embargo, la presencia de una variabilidad extrema entre las beidellitas, deja abierta la posibilidad de que al menos parte de las beidellitas menos enriquecidas en Fe provengan de la alteración de moscovitas y plagioclasas y no de biotitas (Drief y Nieto, 2000), teniendo como fases intermedias los interestratificados I/Sm (Velde, 2001). Todos estos procesos descritos mediante análisis cristaloquímicos e imágenes de MEB y MET (Gilkes *et al.*, 1972; Banfield y Eggleton, 1988; Drief y Nieto, 2000, entre otros) han sido observados en las muestras estudiadas. Domínguez Díaz *et al.* (1996) observaron asociaciones similares a las descritas en esta Tesis en zonas correspondientes a la Unidad Arcosas de Madrid, describiendo los interestratificados como de tipo I/Sm y Cl/Sm, además de observar variaciones importantes en las composiciones de las beidellitas, sin embargo, no obtuvieron las composiciones extremadamente magnésicas (tipo saponita) que hemos observado en el presente trabajo.

La observación de indicios de actividad bacteriana abre la posibilidad de que los procesos observados sean aún más complejos con la intervención biológica en la precipitación de ciertas fases minerales y en la alteración directa o inducida por el microambiente generado de otras fases minerales, principalmente las arcillosas. Trabajos sobre la intervención de bacterias en la precipitación de calcita, dolomita, magnesita o sulfatos son abundantes en la literatura científica (Morales *et al.*, 2011; Sánchez-Román *et al.*, 2011; Sanz-Montero y Rodríguez-Aranda, 2012) y procesos similares se han descrito en varios puntos de la cuenca de Madrid (Sanz-Montero *et al.*, 2009; Leguey Jiménez y Cuevas Rodríguez, 2010 y citas interiores), aunque esta es una de las primeras referencias en las arcosas de la zona oeste de Madrid. En todo caso, este es un tema que se sale de los objetivos iniciales de la Tesis y tendrá que ser abordado en futuros trabajos.

Se ha realizado un análisis estadístico utilizando el software SPSS para la comparación de las concentraciones de determinados elementos en los minerales de la arcilla de los tramos estratigráficos estudiados. Aunque muchos elementos presentan diferencias significativas, mostramos el Mg y el Na, por ser los que mejor separación de valores muestran (Figura 7.23). Por lo tanto, hay diferencias químicas significativas entre los diferentes tramos, que para el Mg separan muy bien los dos tramos inferiores del yacimiento de Húmera del resto, y para el Na separan la secuencia en tres bloques, con los valores más altos registrados en las muestras de Húmera, valores medios en los tramos inferiores al tramo T-1 de Somosaguas, y finalmente, los valores más bajos en los tramos superiores de Somosaguas (T0 a T6).

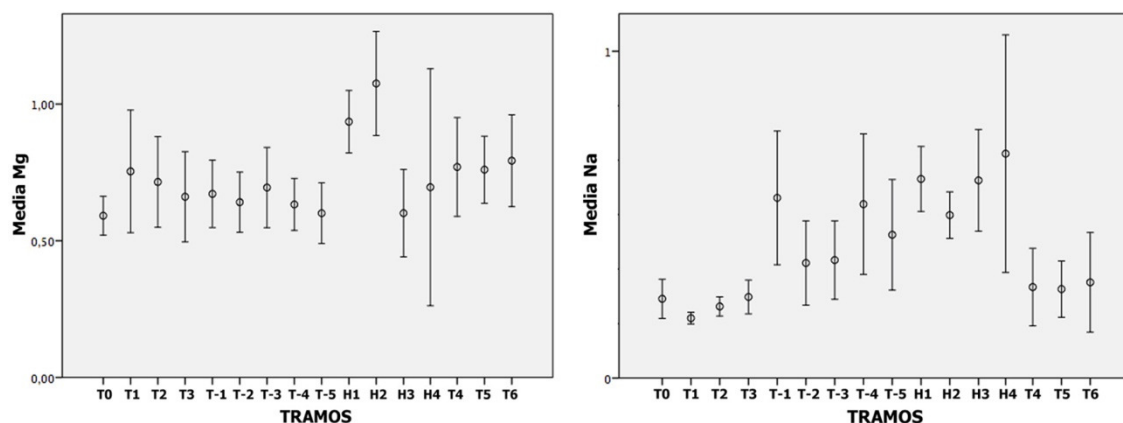


Figura 7.23- Diagramas de medias y desviaciones de los contenidos en los elementos Mg y Na de las esmectitas de los diferentes tramos estudiados en esta Tesis.

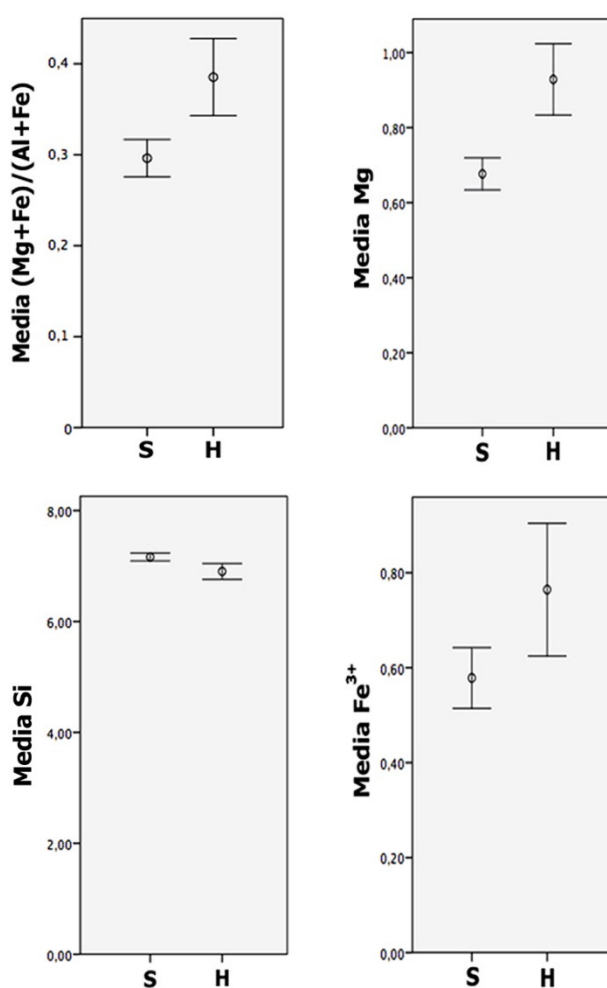


Figura 7.24- Diferentes representaciones comparativas de elementos químicos de las muestras de los yacimientos de Somosaguas y Húmera. S= Somosaguas y H = Húmera.

En este punto conviene recordar que es en los dos primeros tramos de Húmera donde se han observado los cementos de calcita, y que es principalmente en este mismo yacimiento donde se han obtenido el mayor número de montmorillonitas y beidellitas sódicas y con abundante Mg.

También se observan claras diferencias entre ambos yacimientos (Figura 7.24), principalmente en cuanto a Mg, Fe, Na, Si y las relaciones entre cationes octaédricos. Estas observaciones indican que aún estando muy cerca ambos yacimientos y habiendo registrado procesos similares han tenido microambientes químicos diferentes, tal vez por diferente desarrollo de la cubierta vegetal y los suelos o por características geomorfológicas que permitiesen mayor estancamiento de agua en una zona que en la otra. Una visión interesante es que el tramo H4 presenta una de las mayores desviaciones (variabilidad alta) en Na y Mg, siendo un tramo que está muy influenciado por la acción edáfica, lo que concuerda con las observaciones realizadas hasta el momento que indican que la gran variabilidad en las composiciones de las esmectitas se debería principalmente a procesos edáficos.

Finalmente, se ha realizado un análisis de componentes principales para evaluar la varianza que ha permitido obtener tres factores principales, que explican el 85% de la varianza total en relación con los elementos químicos principales de los minerales de la arcilla. Al representar los dos factores más influyentes, que representan el 73% de la varianza (Figura 7.25), se observa una relativa buena separación de los conjuntos de montmorillonita, beidellita e illita, aunque como se aprecia hay valores intermedios que pueden deberse a fases intermedias de transformación entre montmorillonitas y beidellitas o illitas y beidellitas, o deberse a interestratificados I/Sm o interestratificados con diferentes tipos de láminas esmectíticas.

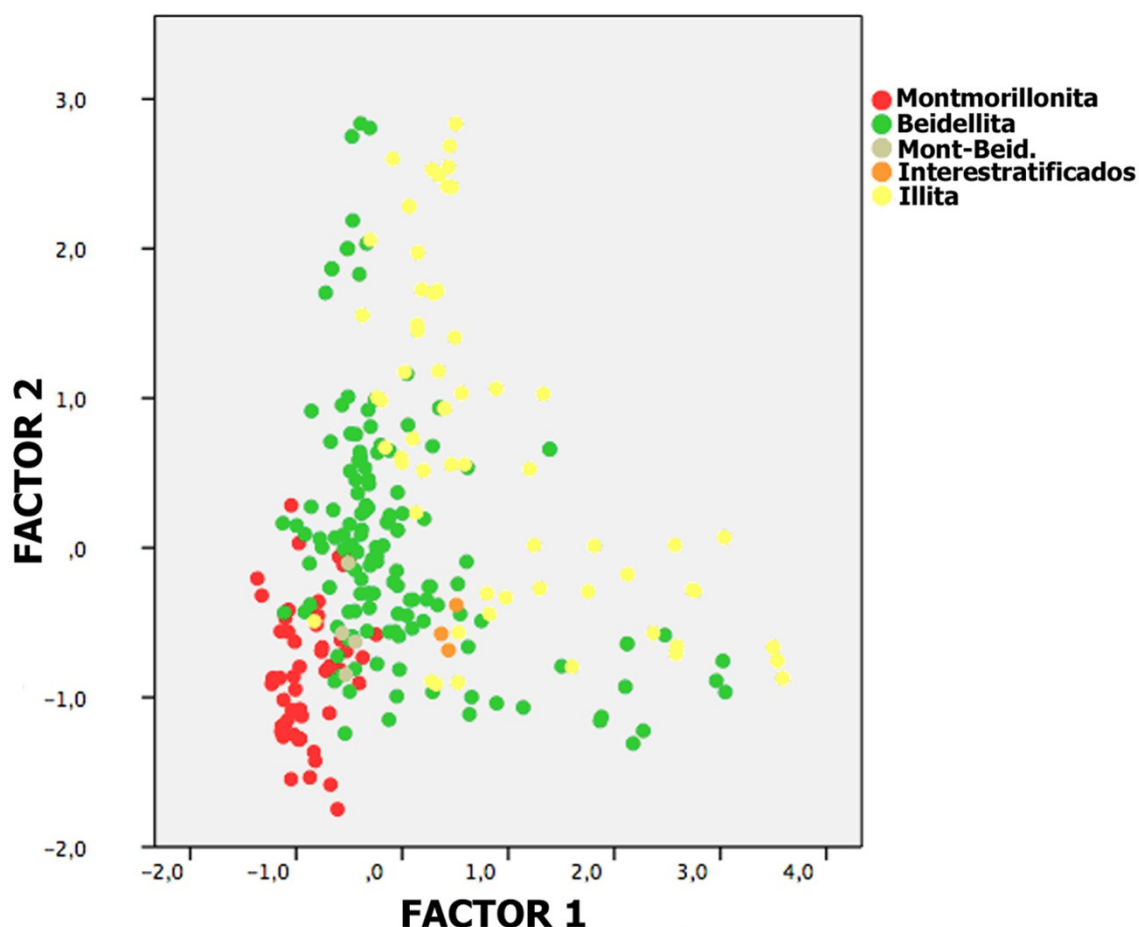


Figura 7.25- Representación de los dos factores principales obtenidos del análisis de componentes principales para las composiciones químicas de las partículas más finas analizadas con MET.

7.5.2- Inferencia Paleoambiental

La secuencia de alteración comentada en el apartado anterior es de gran interés ya que refleja todos los estadios de degradación de estas micas, y por lo tanto sus procesos genéticos. Éstos procesos concuerdan con las características paleoambientales definidas para el área de estudio mediante análisis faunísticos, isotópicos, etc. (Hernández Fernández *et al.*, 2006). Del análisis de texturas, morfologías, composiciones químicas y asociaciones de minerales de la arcilla se pueden obtener datos paleoambientales tales como condiciones de drenaje y de pH de los ambientes locales de sedimentación (Keller, 1970; Wilson, 1999).

La neoformación de montmorillonita a partir de cationes en disolución y restos de feldespatos y moscovitas requiere un ambiente con disponibilidad de soluciones en una zona relativamente mal drenada y con pH relativamente alto, por lo que lugares como las charcas locales formadas en zonas distales de los abanicos aluviales y en las zonas de coalescencia entre ellos serían ambientes propicios para estos procesos de neoformación. Según Paquet (1970), las esmectitas se forman preferentemente en suelos o zonas mal drenadas con pH altos y suficiente aporte de Mg, dado que este elemento favorece la cristalización de las esmectitas (Tomita; 1970; Harder, 1972; Wilson, 1999; Fiore *et al.*, 2001). Los cationes básicos y el silicio se concentran en zonas mal drenadas favoreciendo la neoformación de montmorillonitas, indistintamente del clima (tanto tropical húmedo como seco; Tardy, 1969; Paquet, 1970; Bocquier, 1971; Srodon, 1999) y la transformación de micas en beidellitas y de moscovitas en interestratificados I/Sm. En cambio, en condiciones de suficiente drenaje, domina la hidrólisis de minerales primarios y se favorece el lavado de cationes (principalmente hierro y potasio), produciendo una disminución del pH local y la transformación de biotita en vermiculita (Eberl, 1984; Aoudjit *et al.*, 1995).

Es común que entre el área fuente y la zona de sedimentación haya variaciones del pH local, de forma que zonas geomorfológicamente más elevadas (y composición granítica como en nuestro caso) y mejor drenadas tendrán un pH más ácido (cercano a 5) dominando los procesos hidrolíticos, el lavado de K y la precipitación de hidróxidos de aluminio (Martín de Vidales *et al.*, 1988; Righi y Meunier, 1991), y en las zonas deprimidas, el pH será neutro o ligeramente básico (cercano o ligeramente superior a 7) favoreciendo la formación de montmorillonita en presencia de Ca y Mg (Aoudjit *et al.*, 1995). De lo comentado en las líneas previas y por la presencia de vermiculita en las cercanías de El Escorial (Centeno y Brell, 1987) se deduce que las aguas en el área fuente tendrían un carácter ácido. Sin embargo, la presencia de beidellitas transformadas a partir de biotitas y montmorillonitas neoformadas en el área de estudio, indica condiciones de encharcamiento (drenaje pobre) y desarrollo local de aguas con pH básico. Este cambio de pH de las aguas de los “lagos locales” de Somosaguas y Húmera con respecto a las aguas del área fuente da lugar a diversas hipótesis. Por una parte, en el área fuente o durante el transporte se pueden erosionar materiales que aumenten el pH o bien producirse encharcamientos prolongados en el tiempo que generen concentración de cationes alcalinos, incrementando el pH. Por otra parte, el aporte de aguas freáticas de carácter básico cuyo origen podría relacionarse con algún nivel freático local colgado respecto al nivel regional. Una posible conexión con los lagos alcalinos y salinos de centro de cuenca originaría grandes concentraciones de Mg que favorecerían la formación de paligorskita y sepiolita neoformadas (Jones y Galán, 1988), por lo que al

no encontrar estos minerales se supone que las condiciones de las charcas locales eran diferentes a las de estos lagos miocenos del centro de la cuenca de Madrid.

Sáez *et al.* (2003) propusieron un diagrama rómbico con vértices para el 100% de esmectitas, illitas, caolinita y fibrosos (paligorskita y sepiolita) respectivamente. El claro predominio de la esmectita sobre el resto de minerales de la arcilla en las muestras de Somosaguas y Húmera permite deducir un ambiente de abanicos aluviales secos ya que todas la muestras quedarían en el vértice que define la “Asociación A” de estos autores, con mucha esmectita y cantidades menores de illita y caolinita.

7.5.3- Inferencia Paleoclimática

El uso de las asociaciones de minerales de la arcilla para realizar inferencias climáticas ha sido ampliamente estudiado por diferentes investigadores y en zonas con características muy variadas (Singer, 1980, 1984; Chamley, 1989), y sus limitaciones han sido indicadas por diversos autores (Thiry, 2000). Las principales limitaciones surgen ante la acción de la diagénesis y la autigénesis, que pueden complicar e incluso imposibilitar la interpretación paleoclimática. Sin embargo, diferentes trabajos han dado muy buenos resultados en la aplicación de los estudios de las arcillas a los análisis paleoclimáticos (por ejemplo Bolle y Adatte, 2000; Ehrmann *et al.*, 2005; Khormali *et al.*, 2005; Aróstegui *et al.*, 2011). En los sedimentos estudiados la mayor parte de los minerales son heredados o transformados, y el único mineral claramente autigénico (montmorillonita) está bien caracterizado y reconocido, además de que la diagénesis ha sido muy incipiente en la región y por lo tanto, no es un factor que influya en la interpretación paleoclimática (Fesharaki, 2005; Domingo *et al.*, 2009). De forma general, se puede decir que los minerales illita y clorita son indicadores de una mayor alteración física, mientras que las esmectitas y la caolinita indican alteración química (Singer, 1980, 1984). Por lo tanto, climas áridos y fríos generarán grandes cantidades de illita y clorita, mientras que climas con mayor humedad darán lugar a caolinitas, si las precipitaciones son muy abundantes y repartidas a lo largo del año (lavado de cationes que da lugar a caolinitas), o esmectitas, si son torrenciales y en estaciones muy cortas (Chamley, 1989; Carrasco *et al.*, 2008). En el área de estudio las esmectitas son predominantes, seguidas de la illita, lo que indica unas condiciones de estacionalidad hídrica bien marcadas, sin embargo, la existencia de muchas partículas de illita que siguen reconocibles tanto química como estructuralmente indica que la acción de la alteración química no ha sido excesivamente importante. Además, la observación de interestratificados I/Sm indicaría estadios intermedios de alteración (Aróstegui *et al.*, 2011) y por lo tanto, una reducida acción hidrolizante o un tiempo de actuación escaso. Por lo tanto, podemos inferir un clima con estaciones hídricamente contrastadas, en las que la estación de lluvias sería muy corta (Galán, 1986) y seguramente con lluvias torrenciales, lo que explicaría procesos de tipo *slurry*, *flash floods*, *debris flow* o *grain flow*. La observación de una ligera disminución de las esmectitas y aumento de las illitas hacia techo de la sucesión estudiada sería indicativa de una menor alteración química y por lo tanto, una menor estacionalidad hídrica y condiciones de mayor aridez, que podrían estar acompañadas de un descenso de las temperaturas.

Los carbonatos laminares identificados como calcretas en el tramo T3 de Somosaguas se han definido como calcretas interestratificadas con depósitos sedimentarios detríticos poco alterados (Cuevas-González, 2005), indicando bajas tasas de sedimentación de carácter episódico en climas semiáridos (Alonso Zarza, 2003). Su

intercalación entre depósitos detríticos correspondientes a periodos de flujos en masa parece ser debida a una alternancia entre periodos secos y húmedos (Alonso Zarza y Silva, 2002).

Los tipos de beidellitas diferenciados en los filosilicatos asociados a carbonatos laminares (¿calcretas?) del tramo T3 son las esmectitas típicamente formadas en suelos (Righi *et al.*, 1997), en ocasiones a expensas de otras esmectitas predecesoras. En estos niveles no se han encontrado montmorillonitas, como sí ocurre en los niveles detríticos. Mientras que los niveles detríticos estarían indicando la presencia de agua en el medio, las carbonatos laminares (¿calcretas?) estarían indicando condiciones de zona vadosa (Carrasco *et al.*, 2008). De esta diferencia se puede deducir la existencia de alternancias entre periodos de nivel freático alto y bajo. Así, en periodos de subida del nivel freático se generarían encharcamientos y formación de montmorillonitas y en periodos de bajada del nivel freático se formarían carbonatos laminares (¿calcretas?) en zona vadosa, como respuesta a las variaciones estacionales y que podrían explicar las fases intermedias entre los diferentes tipos de esmectitas dioctaédricas que hemos observado. En relación con esta posibilidad, Pozo Rodríguez *et al.* (1986), en estudios mineralógicos al Sur de la cuenca de Madrid, obtuvieron esmectitas saponíticas, las cuales asociaron a procesos de transformación a partir de beidellitas en condiciones de aridez, que generen la subida de aguas intersticiales, y por lo tanto varíen las condiciones químicas del microambiente de los poros de los sedimentos permitiendo este tipo de transformaciones. Esta hipótesis justificaría la obtención de algunos análisis atribuibles a fases similares a las saponitas en el área de estudio, donde las beidellitas presentan una gran variabilidad composicional.

Khadkikar *et al.* (2000) han relacionado la tipología y proporciones de arcillas asociadas a calcretas laminares con la tasa de precipitación. Según estos autores, una asociación de calcretas con fibrosos de la arcilla y ausencia de rasgos hidromórficos en los sedimentos indican climas áridos (precipitaciones medias anuales de 50 a 100 mm); mientras que una asociación con esmectitas, illitas y óxidos de hierro indican climas semiáridos (precipitaciones anuales medias de 100-500 mm); por último, el desarrollo de suelos con rasgos hidromórficos y vérticos asociados a esmectitas e illitas indican climas subhúmedos (precipitaciones medias anuales de 500 a 700 mm). Los minerales de la arcilla asociados a los carbonatos laminares del tramo T3 del yacimiento de Somosaguas y los asociados a varios tramos del yacimiento de Húmera, indicarían un clima semiárido con aproximadamente 100-500 mm/año o valores ligeramente superiores de precipitación media, relacionados con una elevada estacionalidad hídrica. Estos datos concuerdan con el bioma de sabana atribuido a Somosaguas por Hernández Fernández *et al.* (2006) y refuerza las interpretaciones paleoclimáticas de esta Tesis y de estudios previos.

Finalmente, la observación de beidellitas de alta carga y otras características composicionales y texturales permiten identificar procesos incipientes de formación de suelos en áreas situadas entre el área fuente y el área de depósito de los materiales estudiados. Sin embargo, la gran variabilidad de estas fases arcillosas indicaría grados de transformación muy diferentes que podrían ser debidos a múltiples fases de formación de suelos y su erosión y retrabajamiento, generando partículas beidellíticas con mayor grado de alteración provenientes del área fuente y otras de menor grado de alteración por un inicio de transformación más tardío, en áreas más cercanas a los depósitos estudiados.

7.5.4- Inferencia de las Características Diagenéticas

El estudio de la cristalinidad de la illita y la esmectita ha permitido obtener los valores de los índices de Kübler y Biscaye, respectivamente. Como ya se ha comentado, en ambos yacimientos, las esmectitas presentan buena cristalinidad, ligeramente mejor en el yacimiento de Somosaguas (valores más cercanos a 1). Además se observa que su cristalinidad mejora al disminuir el tamaño de partícula. En cuanto a las illitas se observa que tienen reflexiones relativamente anchas (mala cristalinidad) en las muestras de ambos yacimientos y que el valor del índice de Kübler aumenta al disminuir el tamaño de las partículas, por lo que están peor cristalizadas las partículas más finas. No se observan tendencias claras de variación de estos índices en la sucesión sedimentaria estudiada. La presencia de esmectitas bien cristalizadas e illitas peor cristalizadas refuerza los resultados ya comentados en apartados anteriores, dado que las fases esmectíticas neoformadas tendrían buena cristalinidad, mientras que las illitas afectadas por procesos de alteración y transformación estarían peor cristalizadas. Además, el hecho de que estén peor cristalizadas en las fracciones más finas indicaría que son partículas resultantes de la desintegración mecánica a partir de micas de mayor tamaño durante el proceso de alteración. En todo caso, son datos indicativos de alteraciones exógenas, principalmente en la interfase edáfica y no indican procesos diagenéticos que mostrarían la tendencia contraria, es decir el paso de esmectitas a illitas y una buena cristalinidad de las illitas (De Santiago Buey et al., 1998).

En cuanto a la presencia de minerales interestratificados, como fases intermedias en las reacciones de transformación illita a esmectita, tampoco serían indicativas de procesos diagenéticos, sino de estadios intermedios en la alteración exógena de minerales primarios, y en todo caso, su porcentaje relativamente pequeño indicaría fases muy incipientes de la diagénesis.

Capítulo 8

Divulgación e Innovación Educativa

Dime y lo olvido, enséñame y lo recuerdo, involúcrame y lo aprendo
Benjamin Franklin

La mayoría de las ideas fundamentales de la ciencia son esencialmente sencillas y, por regla general
pueden ser expresadas en un lenguaje comprensible para todos
Albert Einstein



Publicaciones relacionadas:

Benítez-López, G., **Fesharaki**, O., Gómez Cano, A.R. y Pérez de los Ríos, M. (2009). Equipo de Introducción a la Investigación GeoPaleoBiológica en Somosaguas: Un nuevo enfoque para el aprendizaje de la investigación. *Paleohispania, Revista de Paleontología e Paleoecología*, **1**: 105-114.

Casado, A.I., **Fesharaki**, O. y Pérez-García, A. (2011). Origen de la vida: evolución de las teorías hacia un inicio organizado por minerales. En: *Viajando a Mundos Pretéritos* (A. Pérez-García, F. Gascó, J.M. Gasulla y F. Escaso, Eds.): 75-92.

De la Ossa, L., Tejedor Navarro, N. y **Fesharaki**, O. (2012). Experiencias durante la construcción de un diorama del Mioceno de Somosaguas por parte de alumnos con necesidades educativas especiales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, **20**(3): 290-296.

Fesharaki, O., Torices, A., García Yelo, B.A., Tejedor-Navarro, N., de la Ossa, L. & Hernández Fernández, M. (2012). The Somosaguas Palaeontology Project: An envision of Nieves López Martínez for linking science and society. *Spanish Journal of Palaeontology*, **27**(2): 83-92.

Romero-Nieto, D., García Yelo, B.A. y **Fesharaki**, O. (2013). Paleopeli: Un viaje por la historia de la vida a través de películas paleontológicas. En: *Trending Topics in Palaeontology* (P. Navas-Parejo, C. Martínez-Pérez, y S. Pla-Pueyo, Eds.): 101-103.

Rodríguez-Pérez, E., Romero-Nieto, D. y **Fesharaki**, O. (2014). Gymkhana geourbana como método didáctico y de motivación de estudiantes de geología. *Reduca (Geología)*, **6**(1): 1-25.

Romero-Nieto, D., García Yelo, B.A. y **Fesharaki**, O. (2014). Paleontología y Enseñanza Obligatoria. Fuentes y grado de conocimiento. En: *New Insights on Ancient Life* (G. Arreguín-Rodríguez, J. Colmenar, E. Díaz-Berenguer, J. Galán, A. Legarda-Lisarri, J. Parrilla-Bel, E. Puértolas-Pascual y R. Silva-Casal, Eds.): 211-214.

Rodríguez Pérez, E., Romero-Nieto, D. y **Fesharaki**, O. (2014). La imagen del geólogo en el cine: científicos locos vs. atractivos aventureros. *Tierra & Tecnología*, **45**: 51-60.

Romero-Nieto, D., **Fesharaki**, O. y García Yelo, B.A. (2014). Películas de trasfondo paleontológico: Análisis científico y propuestas didácticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, **22**(2): 167-176.

Rodríguez Pérez, E., Romero-Nieto, D. y **Fesharaki**, O. (2015). Evaluación de competencias previas y adquiridas tras la realización de una gymkhana urbana en Madrid por alumnos de Grado en Geología. En: *Current Trends in Paleontology and Evolution* (L. Domingo, M.S. Domingo, O. Fesharaki, B.A. García Yelo, A.R. Gómez Cano, V. Hernández-Ballarín, D. Hontecillas, J.L. Cantalapiedra, P. López Guerrero, A. Oliver, J. Pelegrín, M. Pérez de los Ríos, M. Ríos, O. Sanisidro y A. Valenciano, Eds.): 219-228.

8.1- Introducción

Como ya se ha comentado en el capítulo de introducción, a pesar de su importancia, las Ciencias de la Tierra como conjunto de saberes, son relativamente desconocidas para gran parte de la sociedad (Castilla y de la Iglesia, 2008; Calonge García, 2010; entre otros). Por otra parte, en el Sistema Educativo Español la Geología está infra-representada en materias compartidas con otras ciencias (Pedrinaci, 2012) y ausente como asignatura obligatoria propia (Lillo Bevia, 1993; Anguita, 2006). Esta falta de horas lectivas, en general, va acompañada de una escasa oferta de actividades de divulgación de la misma (Gutiérrez-Marco, 2005), por lo que, las posibilidades de llegar al gran público son reducidas, hecho que al mismo tiempo retroalimenta el poco conocimiento, sobre temas geológicos, de la sociedad.

A este respecto creemos que todos los geólogos, tanto durante nuestra etapa formativa en los Grados, Masteres y Doctorados, como en la posterior vida profesional, tenemos que realizar una importante labor de divulgación de nuestros trabajos, así como intentar innovar y mejorar los materiales y métodos didácticos que utilizamos en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra en todos los niveles y etapas educativas. Esta dimensión social del trabajo de los científicos es la que nos lleva a incluir este capítulo que recoge parte de los estudios y actividades, que encaminados a generar nuevos materiales para la divulgación y la innovación educativa, en el campo de la Geología y ciencias afines, se han llevado a cabo en el transcurso de la realización de esta Tesis.

8.2- *La Geología en el Sistema Educativo Español*

En lo que al cambiante Sistema Educativo Español se refiere, en los últimos 30 años, se han sucedido decenas de leyes orgánicas, reales decretos, y decretos y normativas a nivel Autonómico, que no han conseguido una estabilización de los objetivos, los contenidos, los procedimientos ni los conocimientos o las competencias indispensables para la evaluación de las asignaturas impartidas en los diferentes niveles educativos, con una especial problemática en la Educación Secundaria. Además, esta circunstancia ha tenido en constante tensión a profesores, alumnos, padres de alumnos y la comunidad educativa en su conjunto ante cada cambio normativo. Todo ello sin lograr que los estudiantes destaquen en las evaluaciones internacionales que se realizan anualmente. El Anexo IV recoge las diferentes leyes de educación que se han sucedido desde los años setenta (tanto las puestas en marcha como las que no llegaron a aplicarse plenamente) y el tratamiento que daban a los temas geológicos cada una, especificadas para el caso concreto de la Comunidad de Madrid. Como muestra este anexo, la primera ley integral, que empieza a parecerse en sus términos a lo que en esos momentos sucedía en el resto de Europa, es la Ley General de Educación (1970), aún manteniendo algunas características derivadas del régimen político vigente. Posteriormente, la LOECE (Ley Orgánica por la que se regula el estatuto de centros escolares, 1980), y principalmente la LODE (Ley Orgánica Reguladora del Derecho a la Educación, 1985), la LOGSE (Ley Orgánica de Ordenación General del Sistema Educativo, 1990) y la LOPEG (Ley Orgánica de la participación, la evaluación y el gobierno de los centros docentes, 1995) pusieron los cimientos de la educación moderna en España, estableciendo el derecho a la educación y dando mucha importancia a la igualdad de oportunidades en la educación, así como un cambio en la propia estructura de la educación. Sin embargo, los vaivenes políticos han supuesto varios cambios más que han afectado desde la distribución de las asignaturas obligatorias y optativas hasta los propios objetivos y

métodos de enseñanza y evaluación. Así, en 2002 se aprueba la LOCE (Ley Orgánica de Calidad de la Educación) que solo llega a aplicarse en algunos de sus puntos y es derogada por la aprobación de la LOE (Ley Orgánica de Educación, 2006), que a grandes rasgos mantiene la estructura de la LOGSE, aunque se realizan cambios en el carácter de la enseñanza y sus principales objetivos. Finalmente, en 2013, se aprueba la LOMCE (Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad de la Educación) que de nuevo realiza algunos cambios en la estructuración por ciclos o por cursos de la Educación Secundaria, que da una finalidad propedéutica a 4º de ESO e impone exámenes externos al final de las etapas, entre otras variaciones.

Analizando por niveles educativos, la presencia de los temas de Geología, se observa que en Educación Primaria (ahora hasta 6º, y en la Educación General Básica, EGB, hasta 8º curso) los contenidos no han variado en exceso, y tan solo se pueden deducir los cambios lógicos por la aparición de las nuevas tecnologías. Sin embargo, hay un aspecto curioso a la par que preocupante a destacar, y es la unificación de la Geología con las Ciencias Sociales, y lo que es mas grave, el desarrollo de temas claramente geológicos en bloques de Geografía o directamente en la asignatura de Ciencias Sociales. Esto es de por si un factor que puede generar confusión al alumno de Primaria en cuanto al aspecto temporal, ya que si hablamos de Ciencias Sociales haciendo referencia a la “sociedad” es difícil explicarse los temas relativos a los minerales, las rocas o el sistema Solar que existen desde millones o miles de millones de años antes del hombre. Este hecho también se observa en algunas asignaturas de Educación Secundaria.

En lo que a los cuatro cursos de la Educación Secundaria Obligatoria se refiere (equivalente a 7º y 8º de EGB y a 1º y 2º del Bachillerato Unificado Polivalente, BUP) se observa que la Geología siempre va acompañada de otras ciencias y solo existe un carácter obligatorio hasta el equivalente al tercer curso de la ESO. Posteriormente, la Geología forma parte de asignaturas optativas de modalidad en 4º curso. La LOMCE empeora en este sentido ya que en 2º de ESO no se incluye la asignatura de Biología y Geología. En relación con los temas concretos de la Geología, éstos son muy variables en cuanto a los cursos en los que se imparten, pero considerando toda la etapa suelen ser los mismos temas en todas las leyes. El principal problema que se observa es que la mayoría de los temas que se ofrecen repetidamente en las asignaturas de Ciencias Naturales obligatorias son las de carácter más memorístico y menos integrado (clasificaciones de rocas y minerales, componentes de la atmósfera, las capas de la Tierra, etc.), mientras que las que incluyen aspectos más integradores como la tectónica de placas, el ciclo de Wilson, el desarrollo del ciclo de las rocas, etc. o más prácticos como el trabajo con mapas, cortes o escalas, suelen ser asociados a asignaturas de cursos superiores y por lo tanto que no son obligatorios. En cuanto a las aplicaciones y la importancia de la Geología, solo se observan alusiones puntuales a las rocas industriales y los minerales metálicos, o los recursos energéticos y la prevención de los riesgos geológicos, dejando en general de lado los nuevos campos de la geología en los que hay investigaciones punteras y de gran trascendencia (la geofísica, la geoquímica, la nanotecnología a partir de la cristalografía de determinados minerales, la geología medica, la geotecnia, la hidrogeología, la paleoclimatología, etc.). También hay algunos temas relacionados con la estructura y propiedades de la materia en la asignatura de Física y Química, lo que en parte los relaciona con la Cristalografía, aunque esta visión multidisciplinar no se nota en la mayoría de los libros de texto. En la mayoría de las leyes, en 4º curso la asignatura de Biología y Geología recoge temas tan importantes

como las leyes y los principios de la geología (estratigráficos, paleontológicos,...), la historia geológica de la Tierra, la tectónica de placas o el origen y la evolución de la vida en la Tierra (relación directa con la Paleontología), y sin embargo es una materia optativa. Otro de los problemas clave, para el conocimiento geológico de los estudiantes, es el hecho de que gran parte de los profesores de Secundaria, que imparten las asignaturas de Ciencias Naturales, tienen una formación universitaria de Biología, por lo que, en general, los temas de Geología se ven de forma precipitada y superficial (Pedrinaci, 2012). Además, se realizan muy pocas actividades fuera del aula (laboratorios, visitas a museos y exposiciones temáticas, excursiones al campo, etc.) que, ya sea por los recortes en educación (que conllevan menos docentes de apoyo) o por la propia decisión de los departamentos responsables en cada Centro Educativo, agravan esta situación. Curiosamente en las leyes se pueden leer frases como “Las competencias, por tanto, se conceptualizan como un «saber hacer» que se aplica a una diversidad de contextos académicos, sociales y profesionales” (LOMCE), lo que parece difícil de aplicar a la Geología y en general a las ciencias sin las suficientes horas de actividades prácticas, de laboratorio y salidas al campo. Uno de los aspectos que sí parece positivo en la LOMCE es la inclusión de un proyecto de investigación que podría suponer una oportunidad para recuperar trabajos de laboratorio y salidas al campo de base geológica. Por otra parte, se proponen asignaturas como “Ciencias aplicadas a la actividad profesional” o “Cultura científica” que tienen entre su temario apartados que destacan la importancia del medio ambiente y las ciencias implicadas en su estudio y protección, la importancia del I+D+i o el planteamiento de investigaciones aplicando el método científico.

En la Educación Secundaria post-obligatoria de Bachillerato (equivalente a 3º de BUP y el Curso de Orientación Universitaria, COU) la Geología, como asignatura propia es optativa, y los intentos por suplir su ausencia con otras asignaturas optativas como “Ciencias de la Tierra y Medioambientales” han tenido un éxito muy discutible. Esta última engloba diferentes temas, en general tratados de forma inconexa en los libros de texto, y que apenas aportan un conocimiento integrado sobre las disciplinas científicas que la forman (geodinámica, ecología, climatología y meteorología, riesgos naturales, recursos minerales y energéticos, medio ambiente y la influencia humana, etc.). Al tratarse muchos temas, éstos solo pueden enseñarse de una forma superficial, lo que según algunos autores genera cierta confusión en los conceptos que se pretenden enseñar (Pascual Trillo, 1998). Está presente como optativa de modalidad en 1º de Bachillerato junto con la Biología, y en general, presenta uno de los temarios más completos en relación con los demás cursos, sin embargo, es optativa y además la Biología suele acaparar la mayor parte del horario, como ya se ha comentado con relación a la Secundaria Obligatoria. A pesar de que en la LOMCE, y no sin esfuerzo por parte de instituciones y sociedades geológicas, se incluye una asignatura de Geología en 2º de Bachillerato, con un temario muy amplio y moderno, y se le dota de un rango de troncal de modalidad, un alumno puede finalizar sus estudios de Bachillerato sin haber cursado ninguna asignatura de Ciencias Naturales. Por otra parte, en cuanto entre en vigor esta nueva ley (año 2015), y hasta su posible derogación o modificación por nuevos planes de estudios, seguirá como materia optativa de 2º de Bachillerato la asignatura de “Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente”. Por lo tanto, la mayoría de los aspectos geológicos siguen sin tener cabida en los estudios de muchos estudiantes españoles, y en cuanto este hecho no se solucione, la labor de divulgación es imprescindible para dar a conocer esta ciencia a la sociedad.

En cuanto a la Formación Profesional y a la Enseñanza Universitaria, la presencia de la Geología y su carga lectiva dependen de cada Módulo o Grado, e incluso de la Universidad de la que se trate.

Las enseñanzas de Geología, en los niveles educativos superiores (estudios universitarios de Licenciatura, Grado y Máster) también han experimentado multitud de cambios a lo largo de las últimas tres décadas. Se pueden destacar la LRU (Ley de Reforma Universitaria de 1983) y la LOU (Ley Orgánica de Universidades), junto a modificaciones autonómicas, y de las propias universidades. Durante mucho tiempo las carreras de Ciencias Naturales no tenían asignaturas compartidas, mientras que sí se impartían, tanto en Biología como en Geología, asignaturas de Física, Química o Matemáticas. Actualmente, los Reales Decretos que establecen la ordenación de las Enseñanzas Universitarias Oficiales y que regulan los planes de estudios de los Grados de Ciencias (Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre; Real Decreto 43/2015, de 3 de febrero) y las normas complementarias de cada universidad han introducido una asignatura de Geología en el primer curso de algunos Grados de Ciencias y temas de Geología en asignaturas de diferentes cursos de las carreras de Ciencias. Como ejemplos de lo que ocurre en la Comunidad de Madrid se pueden citar las carreras de Química, Física y Biología, aunque también hay asignaturas relacionadas con la Geología en diferentes Ingenierías o en Ciencias Ambientales. Sin embargo, como ya se ha comentado antes, no todas las universidades tienen exactamente las mismas asignaturas, ni los mismos números de créditos para estas asignaturas, ni tampoco el mismo carácter (troncal, obligatorio de itinerario, optativo,...). En los Grados en Biología de esta Comunidad se imparten asignaturas como Geología general, Geología aplicada a la Biología, Paleontología, Edafología y Geobotánica. En Física se imparten asignaturas como Física de la Atmósfera, Física de la Tierra, Física de Materiales, Astronomía, Cosmología, Geomagnetismo y Gravimetría, Sismología y Estructura de la Tierra, Geofísica y Meteorología Aplicadas, etc. En Química, se imparte una asignatura de Geología con un temario casi completamente enfocado a la Mineralogía y la Cristalografía. En los Másteres de estas carreras también se imparten asignaturas relacionadas en diferente grado con los diferentes campos de la Geología. Estas asignaturas podrían mejorar el conocimiento geológico, al menos en los estudiantes de carreras de Ciencias.

En cuanto a la situación en el propio Grado en Geología y anterior Licenciatura en Ciencias Geológicas (solo impartido por la UCM) hay que destacar que muchos de los estudiantes que acceden no son vocacionales, sino que lo hacen por no haber alcanzado nota suficiente en las pruebas de selectividad para cursar su primera elección (ver indicadores III.5 y III.6 de admisión en la Universidad Complutense de Madrid por áreas académicas de los últimos cursos). Este y otros factores socioeconómicos y educativos (la presión de la actual situación económica y social, las escasas perspectivas de salida laboral, clases impartidas íntegramente de forma magistral y poco motivadora, las diferentes visiones del profesorado sobre la adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior y su aplicación, entre otros) son algunos de los principales causantes de la elevada tasa de abandono tras el primer curso y del gran número de alumnos poco motivados que pueden tardar hasta el doble de años en terminar la carrera (Castilla *et al.*, 2006; Rodríguez Pérez *et al.*, 2014b). Esta situación se ha detectado también en otros países del mundo (ver referencias en Manduca, 2007). Además, en todas las facultades de Geología o Ciencias Geológicas de España se ha producido una caída en picado del número de alumnos matriculados desde finales de los años noventa

hasta la actualidad, así como en el número de alumnos de nuevo ingreso, aunque en este sentido se observa cierta recuperación (Moral y Olías, 2012). Todo lo anteriormente descrito, potencia el ya mencionado bajo grado de conocimiento, y en cierta medida, de interés por la Geología de los estudiantes españoles y por extensión de toda la sociedad. Todo esto se produce a pesar de que la Geología es una ciencia presente en los medios de comunicación (los recursos o riesgos naturales entre otros temas) y algunas ramas de la misma, como la Paleontología, gozan de gran popularidad entre la población española y en especial la población más joven (Romero Nieto *et al.*, 2014b).

La adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), que prima la evaluación continua, y mediante métodos variados, de las competencias adquiridas por los alumnos, favorece el planteamiento de actividades y temas con un enfoque multidisciplinar, flexible y motivador. Este planteamiento de nuevos métodos y recursos docentes para motivar al alumnado puede relacionarse con actividades tanto formales como no formales. Principalmente, es el planteamiento de actividades fuera del ámbito estrictamente formal la que ha sido más utilizado para motivar al alumnado como indican diversos autores (Florido de la Nuez *et al.*, 2002; Rodríguez Pérez *et al.*, 2014b). Sin embargo, también puede ser muy útil el uso de las propias actividades académicas para acercar y motivar a los alumnos por las Ciencias, en general, y la Geología en particular. Además, es importante introducir en el temario de las asignaturas de Ciencias Naturales apartados o temas “puente” que ayuden a los alumnos a tener una visión más interdisciplinar, integrada y completa, y les permita valorar la importancia de todos los campos de estas dos Ciencias (Geología y Biología) y sus relaciones con otras disciplinas científicas. Es con este objetivo con el que se desarrollan los siguientes apartados.

8.3- Propuestas en torno a la Didáctica y la Innovación Educativa en Geología

La Didáctica es una disciplina comprometida con la comprensión y transformación permanente de los procesos socio-comunicativos, la adaptación y desarrollo apropiado del proceso de enseñanza-aprendizaje, y requiere un gran esfuerzo reflexivo-comprensivo y la elaboración de modelos teóricos-aplicados que posibiliten la mejor interpretación de la tarea del docente y de las expectativas e intereses de los estudiantes (Medina Rivilla y Salvador Mata, 2009). Según estos autores “la Didáctica es la disciplina de estudio y fundamentación de la actividad de enseñanza en cuanto propicia el aprendizaje formativo de los estudiantes en los más diversos contextos; con singular incidencia en la mejora de los sistemas educativos reglados y las micro y mesocomunidades implicadas (Escolar, familiar, multiculturas e interculturales) y espacios no formales”. La didáctica tiene su base en la búsqueda de las dificultades en el desarrollo educativo en los centros educativos, y por lo tanto los docentes e investigadores tenemos una labor de búsqueda y planteamiento de propuestas de mejora de dichas dificultades.

El concepto de Innovación Educativa es más complejo y hay diferentes definiciones y perspectivas. Según Zaltman *et al.* (1973) el concepto de innovación puede hacer referencia a una idea, una práctica o un artefacto material que ha sido inventado o que es contemplado como novedad, independientemente de su adopción o no adopción. Para Carbonell (2001) la innovación es la serie de intervenciones, decisiones y procesos, con cierto grado de intencionalidad y sistematización que tratan de modificar actitudes, ideas, culturas, contenidos, modelos y prácticas pedagógicas. Los cambios que se

producen pueden ser de variados tipos (Elmore, 1990), pero en este trabajo proponemos algunos dentro de los denominados cambios curriculares, es decir, aquellos relacionados con el diseño y desarrollo del currículum, con las estrategias de enseñanza, con los componentes del currículo (cambios en los materiales curriculares y utilización de nuevos enfoques de enseñanza). Específicamente, la innovación educativa conlleva acciones vinculadas a procesos de investigación para dar solución a problemas que comportan un cambio en la práctica docente. Con las propuestas que realizamos en los próximos apartados hemos querido tener en cuenta la atención a la diversidad y a los diferentes estilos de aprendizaje, utilizando materiales multisensoriales, en un proceso de aprendizaje cooperativo, interdisciplinar e integrado de las Ciencias Naturales, y cuyo proceso de evaluación continua conlleve una autoevaluación por parte del propio estudiante. Se presentan a continuación como ejemplos las experiencias que se han llevado a cabo en el contexto de varios Proyectos de Innovación y Mejora de la Calidad Docente.

El Proyecto Somosaguas de Paleontología viene desarrollando desde 1998 una importante labor de innovación educativa tanto en lo que a las enseñanzas formales universitarias se refiere como a las propuestas de mejora que se realizan en relación con estudios inferiores. Esta labor, que gira en torno a los yacimientos paleontológicos de Somosaguas, ya ha sido descrita en diversas publicaciones (López Martínez *et al.*, 2005; Castilla *et al.*, 2006; Fesharaki *et al.*, 2012 y citas interiores), y reconocida nacional e internacionalmente (Alcalá *et al.*, 2010a,b; González *et al.*, 2011; Centeno *et al.*, 2012; García-Frank, 2014a), por lo tanto solo describiremos a continuación algunos de sus aspectos más relevantes.

Las actividades que se llevan a cabo cubren dos ámbitos diferentes, por una parte, las que entran dentro del propio ámbito educativo formal de la universidad, y por otra, las que se realizan desde el Proyecto en Semanas de la Ciencia, exposiciones temporales y jornadas de puertas abiertas, que entrarían en el ámbito de la educación no formal y la divulgación.

En cuanto al primer ámbito, y por tratarse de acciones educativas formales, se desarrollaron como asignatura de libre configuración hasta la implantación de los Grados, y actualmente se ofertan 2 créditos optativos. Una de las características más notables de esta actividad es que está abierta a todos los alumnos de la UCM, sin distinción entre la carrera cursada o el curso. Por otra parte, es un proyecto de gestión estudiantil, en la que alumnos de doctorado e investigadores post-doctorales somos los encargados de las actuaciones de cada campaña, siempre coordinados por algún docente responsable del departamento de Paleontología (UCM). Estas dos características permiten que las experiencias vividas durante las campañas de excavación sean únicas y lo convierten en un proyecto muy innovador. También es muy importante el aspecto de la situación espacial del yacimiento, que se puede denominar como un “yacimiento urbano” (Castilla *et al.*, 2006).

La participación en la excavación persigue varios objetivos, por una parte, que los alumnos alcancen o afiancen, según la carrera de la que provengan, una serie de conocimientos conceptuales (saber) y procedimentales (saber hacer), y por otra parte, conseguir que los alumnos disfruten de la experiencia y valoren la importancia de las actividades que se llevan a cabo, como forma de motivarles a ampliar sus conocimientos en este campo. En general, en estas actividades se persigue que el proceso de

aprendizaje conlleve la interiorización de conceptos y procedimientos, pero sobre todo que se adopten actitudes positivas ante el trabajo científico, como el trabajo grupal o la toma de decisiones (Ausubel, 1976; Pozo y Gómez, 1998). Los principales conceptos que se trabajan son los básicos de la Geología y la Paleontología (rocas sedimentarias, sedimentos, minerales, fosilización, facies o tipos de fósiles). En cuanto a los objetivos procedimentales se trabaja la adquisición de diferentes destrezas como el trabajo con escalas, orientación, mapas topográficos y geológicos, realización de columnas estratigráficas, prospección geológica y paleontológica, técnicas básicas de excavación, lavado-tamizado y triado de microfósiles, entre otras (Figura 8.1a-b). Los objetivos actitudinales conllevan la interacción del alumno con su trabajo diario, con los monitores y con el resto de los compañeros, procedentes de diferentes carreras y cursos (apreciar el esfuerzo y la dedicación, el trabajo en equipo, la convivencia, la colaboración y el respeto; Castilla *et al.*, 2006). En general, aunque depende de los directores de cada campaña de excavación (Mota *et al.*, *enviado*), los alumnos, salvo en la excavación en cuadrícula, trabajan en grupos mixtos formados por varios integrantes de diferentes Grados y cursos, siempre intentando que haya al menos un alumno de Geología de 3º o 4º curso. Esta forma de repartir a los alumnos en grupos favorece el aprendizaje cooperativo e interdisciplinar, así como la toma de decisiones en equipo. Además, como es sabido, una de las mejores formas de aprender algo es tener que enseñarlo, y por lo tanto, la responsabilidad de los alumnos de 3º-4º cursos de explicar algunos conceptos a sus compañeros incide en que interioricen mejor dichos conceptos y al mismo tiempo valoren la labor de los monitores y por extensión la labor de los docentes de la universidad. Mediante un sistema de rotaciones (Castilla *et al.*, 2006) todos los alumnos participan en las diferentes actividades planteadas durante las excavaciones y por lo tanto, adquieren un conocimiento general de todo el trabajo de una excavación paleontológica y las interrelaciones entre los diversos campos de la Geología.

De forma especial para los alumnos procedentes de carreras de fuera del ámbito científico, se persigue que reflexionen sobre el valor de la Geología y la Paleontología como instrumentos para conocer el pasado de la Tierra, y que aprecien la importancia de conservar el patrimonio geológico y paleontológico.

“Uno de los puntos negros de la Universidad española es el escaso o nulo entrenamiento en la ciencia real que experimentan sus estudiantes: se estima que menos de un 10 % tienen la ocasión de afrontar un problema científico durante la carrera” (Fernández-Pérez, 2000; Castilla *et al.*, 2006). En contraposición con esta realidad, en el Proyecto Somosaguas de Paleontología, los monitores, pueden intervenir en una asignatura sin necesidad de tener vinculación formal con la universidad, y así pueden involucrarse en una actividad docente, mejorando su experiencia profesional al mismo tiempo que amplían sus expectativas laborales. Los monitores principales, como ya se ha comentado, son licenciados y doctores en diferentes campos de la Geología, y se encargan de asesorar en técnicas de excavación y plantean y coordinan las actividades geológicas y de prospección, lavado-tamizado, etc. que se realizan durante las campañas de excavaciones.

Dentro del segundo ámbito, el divulgativo, se realizan muchas actividades desde el Proyecto Somosaguas de Paleontología, entre las cuales cabe destacar la presencia ininterrumpida en las Semanas de la Ciencia de Madrid y las jornadas de puertas abiertas y las visitas escolares llevadas a cabo cada campaña de excavación (Figura

8.1c-d). Con estas actividades, que van desde las visitas guiadas al yacimiento hasta las exposiciones temáticas (la biodiversidad, la evolución, el origen y la diversificación de los mamíferos, las grandes extinciones, etc.), se pretende acercar la Geología y la Paleontología a la sociedad, y el creciente número de personas que asisten a estas actividades atestigua que son acciones encaminadas en la dirección correcta (Castilla *et al.*, 2006; com. pers. Cárdena Barradas, mayo de 2015). Además, se persigue la sensibilización ante los problemas medioambientales y la importancia de conservar y conocer nuestro pasado, a través de los fósiles, como medio para la comprensión de nuestro futuro. De esta forma, los sedimentos y los fósiles se convierten en materiales didácticos, a la hora de enseñar conceptos más complejos como la biodiversidad, las redes tróficas, los medios sedimentarios o el cambio ambiental y climático, teniendo como hilo conductor el factor temporal, tan complejo y tan necesario a la vez, para la comprensión de la Geología. Al igual que en el ámbito anterior, en estas actividades son necesarios gran número de monitores que colaboren en la divulgación de los diferentes aspectos del yacimiento o en las exposiciones temáticas. Durante los primeros años del proyecto éstos eran los mismos que se encargaban de las excavaciones y las actividades geológicas. Sin embargo, debido al aumento de este tipo de actividades y la escasa e irregular ayuda económica recibida por parte del Proyecto, se hacía difícil mantener a unos cuantos monitores con tantas labores diferentes.



Figura 8.1- Diversas actividades en torno a las excavaciones paleontológicas del yacimiento de Somosaguas: a) excavación en cuadrículas; b) sesión de Geología; c) jornada de puertas abiertas; d) visita de un grupo de alumnos de Educación Primaria.

Por otra parte, entre el año 2004 y el año 2011 se realizaron una serie de encuestas a los alumnos participantes en las excavaciones paleontológicas de Somosaguas como forma de evaluar la actividad y la organización de las jornadas de excavaciones y de triado. Además, se incluyeron cuestiones sobre el interés de los alumnos en realizar actividades de investigación tras su paso por las excavaciones. Las respuestas afirmativas a esta cuestión llevaron a la directora del Proyecto Somosaguas de

Paleontología, Nieves López Martínez, y a algunos investigadores (el autor de esta Tesis quedó encargado del Grupo de Geología) y alumnos de doctorado (ver detalles en Benítez López *et al.*, 2009) a establecer en 2007 un equipo de introducción a la investigación para esos jóvenes interesados en realizar una labor de estudio de la Geología y la Paleontología más allá de las excavaciones (Fesharaki *et al.*, 2012).

El establecimiento de este equipo sería en si una aportación del Proyecto Somosaguas de Paleontología a la innovación educativa en lo que al aprendizaje de la investigación se refiere. Pero además, dentro de este equipo, que se ha denominado “Equipo de Introducción a la Investigación Geopaleobiológica en Somosaguas” (EIIGPBS), se han diferenciado tres grupos: el grupo de Geología y Biología, el grupo de Paleontología, y el grupo de Educación y Divulgación. Es en éste último grupo donde se han realizado otras aportaciones más como propuestas de materiales didácticos, ideas para el aula y de innovación educativa, y cuyos integrantes han formado parte de los monitores de las jornadas de puertas abiertas y Semanas de la Ciencia. De esta forma, no solo se benefician los alumnos que forman parte de los diferentes grupos, sino que los coordinadores y monitores de estos grupos nos beneficiamos tanto en el aumento de nuestras aptitudes de enseñanza y organización y dirección de trabajos científicos, como en la propia mejora de la experiencia profesional ante nuestra futura actividad docente e investigadora.

De forma resumida (ver detalles en Benítez-López *et al.*, 2009) se puede decir que los principales objetivos del equipo son: (1) formar en alguno de los campos de la Geología o la Paleontología a alumnos no egresados para que sean capaces de realizar investigaciones más o menos sencillas y darlas a conocer en congresos, (2) que la motivación que generan las actividades de investigación del equipo sirva para mejorar el rendimiento de los alumnos durante la carrera y de forma general enseñar a aprender y a querer aprender, (3) dar la oportunidad a los alumnos que colaboran con el equipo de tener publicaciones y otras actividades que amplíen su currículum y por lo tanto, aumenten sus posibilidades de obtener becas doctorales o su acceso al mundo laboral, (4) formar a las futuras generaciones de monitores de las excavaciones y del EIIGPBS, ya que la gestión por parte de jóvenes investigadores es una de las señas de identidad del Proyecto Somosaguas de Paleontología (López-Martínez *et al.*, 2005), (5) enseñar, en colaboración con otros especialistas, formas didácticas de divulgación de la Geología para que los alumnos colaboradores puedan ayudar en actividades de divulgación del equipo.

Los estudios realizados por parte de los doctorandos y también de aquellos que forman parte del EIIGPBS han sumado más de 50 aportaciones científicas y educativas en revistas nacionales, internacionales y en congresos (Fesharaki *et al.*, 2012), así como diversos trabajos académicos (DEA, TFG, TFM, un capítulo de Tesis y la presente Tesis al completo).

A pesar de todos estos logros y el interés social y académico que tienen estas actividades, la labor realizada por el proyecto ha sido en ocasiones objeto de dudas y críticas por dos razones principalmente: (1) por poner al alcance de alumnos inexpertos la labor de excavación, poniendo “en peligro” la integridad de los fósiles, y (2) el tiempo de dedicación a las labores del EIIGPBS de los alumnos colaboradores del Equipo, que podría suponer un retraso en sus estudios de Grado.

Respecto a la primera duda, hay que comentar que un reciente trabajo de análisis tafonómico (Martín-Perea, 2015) ha puesto de manifiesto el bajísimo porcentaje de restos (menos del 1%) que aparecen con alguna marca de excavación (generalmente originadas por el golpe de un destornillador) y por lo tanto, que ante las grandes ventajas que supone esta actividad para alumnos e investigadores, y ante el grado de fracturación original de los restos, es un porcentaje asumible, que también puede ocurrir en yacimientos excavados exclusivamente por profesionales.

Respecto a la segunda duda, hay que destacar tres datos: En primer lugar el número creciente de alumnos que se interesan por las excavaciones y por las actividades del EIIGPBS, en contraste con la disminución de alumnado que accede a carreras de Ciencias y en especial de Geología (Figura 8.2; Castilla *et al.*, 2006; Moral y Olías, 2012); además de la obtención de becas de colaboración o doctorales por parte de la gran mayoría de los alumnos que han pertenecido al EIIGPBS; y finalmente, la constatación de que muchos alumnos no solo no han bajado su rendimiento en la carrera, sino que los conocimientos y las aptitudes adquiridos durante sus trabajos con el EIIGPBS les han permitido mejorar en la carrera, estando muchos de ellos entre los 10 primeros de sus respectivas promociones (entradas relacionadas en investigacionensomosaguas.blogspot.com.es). Este hecho, seguramente se deba a que, en general, son los alumnos más responsables y maduros, que saben planificarse su tiempo, los que se interesan por éste y otras actividades complementarias de la carrera. Por lo tanto, es un síntoma de la madurez de los alumnos poder compaginar los estudios oficiales con actividades adicionales que les reportan otros conocimientos y aptitudes complementarios a los recibidos en el Grado de Geología o cualquier otro Grado universitario.

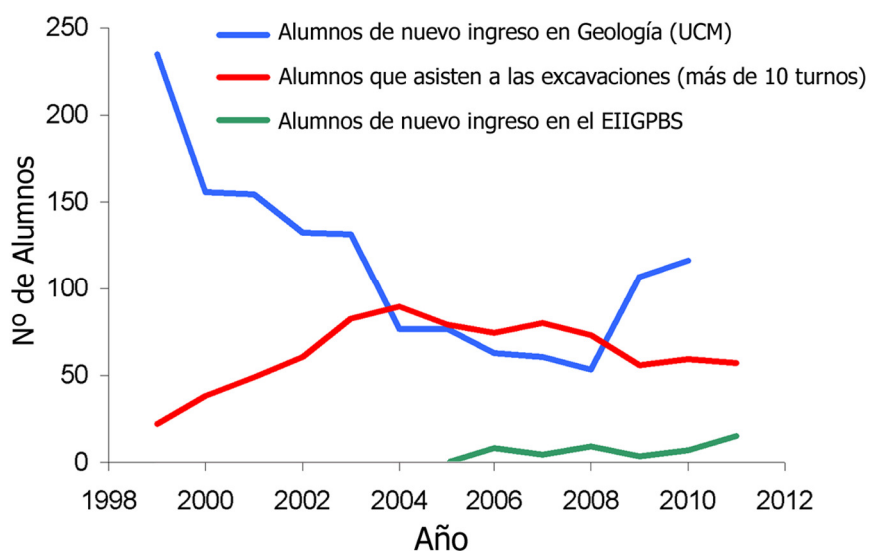


Figura 8.2- Grafica que muestra la evolución (1999-2011) del número de alumnos de nuevo ingreso en Ciencias Geológicas (UCM), el número de alumnos en las excavaciones de Somosaguas y el número de alumnos que inician un proyecto de investigación en el EIIGPBS (ver texto para detalles).

Todo lo comentado en los párrafos anteriores ha permitido formar un entramado investigador-divulgador en el que los doctorandos no solo aprendemos ciencia sino que aprendemos a dirigir a otros alumnos de cursos inferiores, plantear y coordinar actividades de divulgación, y que al mismo tiempo los alumnos que colaboran con el equipo puedan realizar trabajos científicos básicos o sobre métodos innovadores en la

mejora de la calidad docente y en la divulgación, de las que los propios profesores e investigadores se nutren para mejorar sus siguientes actividades.

La universidad española se encuentra en un momento de profundo cambio con motivo de la nueva organización de los Grados y Máster universitarios, como parte de los cambios surgidos en el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). Es este ámbito en el que las variadas actuaciones innovadoras llevadas a cabo desde el Proyecto Somosaguas de Paleontología deberían encontrar las vías administrativas que permitan consolidarlo como actividad docente. De esta forma, no solo se podrían ampliar y mejorar las actividades propuestas sino que se desvincularía del patrón estacional que tiene en estos momentos, para poder ofrecer actividades de educación y divulgación durante todo el año (Castilla *et al.*, 2006).

8.3.1- Valoración de la Geología por Estudiantes de Secundaria

En el apartado 8.1 se ha expuesto la mala situación general de la Geología en los diferentes niveles educativos; y en el apartado anterior acabamos de ver las posibilidades que hay en torno a la Geología y lo bien que son recibidas por parte de alumnos y público general, pero ¿qué piensan los propios alumnos y qué intereses tienen en torno a la Geología? En los dos siguientes subapartados (8.3.1 y 8.3.2) se exponen las valoraciones que han recibido diferentes campos de las Ciencias Naturales y las ramas de la Geología por parte de estudiantes de Educación Secundaria, y en relación con estas valoraciones planteamos una serie de líneas de trabajo.

Durante el periodo de Tesis Doctoral se han planteado diferentes líneas de investigación educativa, de las que han surgido algunas propuestas didácticas, en relación con diferentes ramas de la Geología. Como punto de partida para la elección de estas propuestas se han tenido en cuenta factores como los propios conocimientos de los monitores y los alumnos colaboradores, así como los datos arrojados por algunas de las encuestas realizadas a alumnos de muy diversas edades durante su paso por el yacimiento en jornadas de puertas abiertas, Semanas de la Ciencia de Madrid, visitas escolares o actividades realizadas por las empresas de divulgación Geosfera y EDNYA, con convenios con la UCM. Algunas de estas encuestas se centraban en el nivel de conocimientos de los asistentes sobre la Paleontología y la historia de la Tierra (Castilla y de la Iglesia, 2008), mientras que otras pretendían conocer la opinión de los asistentes sobre las actividades realizadas durante su visita (alumnos de Primaria y Secundaria; Castilla *et al.*, 2009) y sus preferencias entre los diferentes campos de la Geología, sus ideas sobre la labor del geólogo, etc.

No es objeto de la presente Tesis mostrar de forma detallada los resultados de los cuestionarios realizados por estos alumnos (Tabla 8.1), ya que, por una parte, su valor estadístico puede no haber sido aleatorio y estar influenciado por el hecho de haber sido realizados sobre grupos de personas interesadas en conocer las excavaciones paleontológicas y, por otra parte, el número de encuestados de cada etapa educativa (Primaria, Secundaria Obligatoria, Bachillerato y Universidad) es limitado, aunque en total suman 200 encuestas. Sin embargo, a continuación, se comentan algunos resultados, obtenidos de las encuestas realizadas por alumnos de 3º y 4º de ESO y 1º de Bachillerato, procedentes de 4 institutos de Madrid (55alumnos; 3 institutos públicos y 1 privado; con profesores de formación biológica), y que son relevantes para justificar

las posteriores propuestas didácticas. No se observaron diferencias significativas entre los cuatro institutos.

Cuestiones	Opciones	Resultados (N = 55)
“Entre las dos grandes ramas de las Ciencias Naturales (Biología y Geología) ¿cuál te motiva más?”	Biología	72%
	Geología	6%
	Ambas por igual	22%
“Entre las dos grandes ramas de las Ciencias Naturales (Biología y Geología) ¿cuál te parece que es más útil o tiene más aplicaciones en la vida diaria?”	Biología	82%
	Geología	2%
	Ambas por igual	16%
“Entre las dos grandes ramas de las Ciencias Naturales (Biología y Geología) ¿cuál te parece que tiene conceptos más complejos?”	Biología	7%
	Geología	9%
	Ambas por igual	84%
“De los siguientes campos de la Geología ¿cuál te podría motivar para cursar el Grado en Geología?”	Medio ambiente	42%
	Riesgos geológicos	33%
	Recursos energéticos	16%
	Paleontología	5%
	Procesos geológicos (internos y externos)	4%
	Recursos minerales	0%
	Medio ambiente	38%
“De los diferentes campos de la Geología ¿cuál te parece que tiene más salidas laborales?”	Riesgos geológicos	31%
	Recursos energéticos	20%
	Recursos minerales	7%
	Procesos geológicos (internos y externos)	4%
	Paleontología	0%
	Paleontología	55%
	Riesgos geológicos	20%
“De los siguientes campos de la Geología ¿cuál te gustaría más en una actividad de ocio?”	Recursos minerales	11%
	Medio ambiente	9%
	Recursos energéticos	5%

Tabla 8.1- Algunas cuestiones planteadas en varias encuestas a alumnos de Educación Secundaria de cuatro institutos de Madrid y las respuestas en forma de porcentajes de preferencia de cada una de las opciones propuestas.

Sin ánimo de hacer una discusión exhaustiva de estos datos por las razones indicadas previamente, sí conviene notar el alto porcentaje que se siente más motivado por la Biología y la considera más útil para su futuro. En cuanto a la dificultad que presentan estas ramas de las Ciencias Naturales se obtuvieron resultados similares.

Entre las ramas de la Geología, es interesante ver que las que más motivan a los estudiantes son similares a las que creen que van a tener más salidas laborales, destacando claramente el Medioambiente y los Riesgos Geológicos, quedando muy mal valoradas la Paleontología y los Recursos Minerales. Sin embargo, ante las preferencias para el ocio se cambian las tendencias y una gran mayoría prefiere la Paleontología.

A raíz de estos datos está claro que las pocas horas lectivas de Geología, así como los temas excesivamente teóricos y poco aplicados que se imparten en los cursos de Primaria y ESO, hacen que ésta no sea valorada como una ciencia útil para su futuro, o al menos no tan útil como la Biología. Del mismo modo, se observa que las ramas de la Geología que más les motivan son las que consideran más útiles a la hora de encontrar trabajo, que por otra parte, son las que más conoce la sociedad por los medios de comunicación y pueden valorar su utilidad. Esta última característica ya ha sido

destacada por Giné (2009) que indica que los alumnos suelen tener una mayor motivación por aquello que creen más útil o que tiene más aplicaciones y salidas laborales. Finalmente, pone el contrapunto, la última cuestión, en la que, tal vez influenciados por la asistencia al yacimiento o por lo mediático del tema, una gran mayoría muestra su interés por ocio paleontológico.

8.3.2- Líneas de Trabajo Planteadas

Los diferentes resultados obtenidos han servido de base para trazar tres líneas principales de investigación y las respectivas propuestas didácticas e ideas para el aula:

1) Propuesta de temas “puente” entre la Geología y la Biología: En vista de la buena valoración de la Biología creemos que hay que aprovechar para plantear una serie de temáticas puente entre la Biología y la Geología que permitan mejorar el conocimiento y la valoración de esta última, además de permitir un aprendizaje más integrado de ambas ciencias.

2) Evaluación de la influencia de diversos factores (enseñanza formal, enseñanza no formal, museos y exposiciones no permanentes, cine, medios de comunicación, etc.) en los conocimientos geológicos de los alumnos y la propuesta de actividades que permitan al alumno valorar la Geología y discernir entre la información veraz que recibe por algunos medios y la que no lo es.

3) Finalmente, como se ha comentado en los apartados previos, hay un número importante de alumnos que abandonan la carrera en sus primeros cursos. Se proponen algunas actividades para evaluar los conocimientos geológicos y al mismo tiempo motivar, a los alumnos de formación universitaria, a informarse sobre diversos temas geológicos que desconocen, es decir, fomentar la autoevaluación y la autoformación como elementos complementarios a la formación que se presta de forma oficial en las universidades.

8.3.2.1- Propuesta de Temas “Puente”

Como ya se ha comentado en el punto 8.1, las asignaturas de Ciencias Naturales no presentan la suficiente interrelación como para permitir a los alumnos la adquisición de un conocimiento integrado. Incluso asignaturas que nacieron, en parte, para cumplir con esta misión (Anguita, 1994), como las “Ciencias de la Tierra y Medioambientales” de 2º de Bachillerato, no han sabido, en general, generar la integración entre las ramas de las Ciencias Naturales y por extensión entre las diferentes ciencias. La mayor parte de los problemas que surgen en relación con el medio natural no tienen una solución única que provenga de una única rama de las ciencias y se hace imprescindible la colaboración entre los profesionales de los diferentes campos del saber científico. Sin embargo, esta colaboración es muy complicada si no existen unos conocimientos básicos y globales sobre todas estas ciencias. Por lo tanto, consideramos muy importante realizar propuestas que integren diferentes temas que pertenezcan a los ámbitos de la Geología, la Biología, la Química y otras ciencias y que permitan al alumno valorar la importancia de un conocimiento global y del trabajo en equipos multidisciplinares. De hecho, no solo es importante que haya conocimientos compartidos entre las ramas de las ciencias sino entre todos los campos del saber como ponen de manifiesto Mota *et al.* (enviado) en su estudio de los aspectos sociales de las excavaciones de Somosaguas. En este

sentido, Gimeno Sacristán (2005) propone “organizar globalizadamente los contenidos en unidades complejas que exijan la coordinación de profesores y la docencia en equipo”.

El aprendizaje basado en competencias, que es el que predomina en las propuestas curriculares actuales, se caracteriza por su transversalidad, su dinamismo y su carácter integral. Por lo tanto, el proceso de enseñanza-aprendizaje debe emprenderse desde diferentes áreas de conocimiento, e incluso debe superar los ámbitos formales y llegar a los no formales e informales. Esto es así, ya que la mayoría de las competencias no se pueden adquirir en un determinado momento sino que conllevan un proceso más lento en el que cada estudiante va adquiriendo los conocimientos según se van reforzando éstos en múltiples actividades de todos los ámbitos. Por lo tanto, será necesaria una visión multidisciplinar en la que cada especialista (biólogo, geólogo, pedagogo, etc.) aporte su visión sobre cada tema concreto.

A continuación, en relación con esta propuesta, se desarrollan brevemente un trabajo publicado (en el que se indica la referencia bibliográfica) y otros enviados o en preparación.

Los Minerales y el Origen de la Vida:

Objetivos: 1) que el alumno sea consciente de que la ciencia no es estática y las teorías pueden variar con el tiempo; 2) que el alumno conozca algunas de las teorías que mayor vigencia han tenido respecto a este tema; 3) que el alumno conozca y valore que solo un estudio multidisciplinar ha permitido el avance de la ciencia en este campo; 4) que el alumno busque información y conozca algunas de las características geológicas, mineralógicas, geoquímicas y bioquímicas involucradas en el origen de la vida en el planeta Tierra; 5) que el alumno comprenda la importancia de los minerales en muchos campos de la ciencia más allá de los que conocen como recursos metálicos o materiales de construcción.

Fundamentos teóricos: En el trabajo de Casado, Fesharaki y Pérez-García “Origen de la vida: evolución de las teorías hacia un inicio organizado por minerales” (Casado *et al.*, 2011) se integran nociones de mineralogía (arcillas, sulfuros, boratos, etc.) con los procesos geoquímicos y bioquímicos que intervinieron en el origen de la vida. Es importante el punto de vista multidisciplinar necesario para comprender el tema, y tener en cuenta las extraordinarias circunstancias que tuvieron que existir para poder dar inicio a la vida. Desde que la ciencia se ha ido abriendo paso entre las creencias religiosas ha existido el interés por conocer el origen de la vida sobre el planeta Tierra. Así, la creencia de una tierra formada y habitada por todos los seres vivos en siete días ha dado paso a lo largo de los siglos a teorías como la de la generación espontánea, el ciclo celular y la transmisión de información genética o la evolución de las especies. En este trabajo se ponen al día las diferentes teorías sobre el origen de la vida en el planeta Tierra que se han ido sucediendo entre las escuelas científicas (Figura 8.3).

Resumen de la actividad propuesta: Esta actividad está indicada con ciertas adaptaciones a alumnos de 4º de ESO, Bachillerato y primeros cursos de universidad. La actividad se puede dividir en tres fases: 1) en la primera fase se trata de motivar al alumno por la temática. Esto no es muy difícil ya que es un tema que ha suscitado y suscita mucho interés en gran parte de la sociedad. Se pueden lanzar una serie de

cuestiones como ¿Qué es la vida? ¿Cómo definirías la actividad vital? ¿Crees que las leyes que gobiernan los límites de la vida para los humanos y otros vertebrados son exactamente los mismos que delimitan los márgenes para los invertebrados o seres microscópicos como bacterias? ¿Crees que puede haber vida en todos los ambientes de la Tierra? ¿Cómo crees que eran los primeros vestigios de vida en la Tierra? ¿En qué ambiente primitivo pudo originarse la vida? ¿Por medio de que fuentes de energía se dio inicio a la vida? ¿Crees que existe vida fuera de la Tierra? ¿Crees que la vida pudo llegar desde fuera de la Tierra? y cualquier otra que genere cierto debate y motivación en la clase; 2) una vez que se ha conseguido el interés del alumnado por medio de las cuestiones dirigidas, la segunda fase debe introducir una serie de conceptos básicos para poder seguir el tema mediante lecturas, vídeos documentales, búsquedas en blogs y webs especializados, etc.; 3) El texto de Casado *et al.* (2011) podría servir de documento de lectura y debate dirigido en el aula. Se podrían hacer diferentes grupos que preparasen argumentos a favor de una determinada teoría y argumentos en contra de las demás para poder llevar a cabo el debate. En esta fase es importante que se den cuenta de que la ciencia cada vez requiere de datos más fiables y apoyados en la experimentación para poder aprobar una hipótesis. Finalmente, esta propuesta debe servir para que los alumnos comprendan la importancia de los minerales en muchos campos de la ciencia y no los vean solo como accesorios decorativos o en el mejor de los casos como un recurso para la obtención de metales o energía.

La teorías más importantes serían las siguientes (Figura 8.3): 1) las fijistas o creacionistas, basadas en la creación por una deidad. Estas han existido desde siempre y permanecen inmutables para una parte de la población humana; 2) la generación espontánea o abiogénesis tuvieron mucha prevalencia desde la Grecia clásica hasta casi finales del siglo XIX; 3) En 1862 y de forma definitiva Pasteur refutaba mediante sus experimentos la teoría de la abiogénesis, y los trabajos de Charles Darwin cambiaban el foco hacia la biogénesis, es decir, la generación de vida a partir de vida y la evolución a lo largo del tiempo; 4) Tras la refutación de la generación espontánea surgía el problema de cómo se generaron los primeros seres vivos. Así en el siglo XX, que comienza con la mejora de los medios experimentales, surgen cuatro grupos principales de teorías con sus variantes: a) teorías exogénicas (la vida ha llegado a la tierra alojada en algún meteorito) como la panspermia y la panspermia dirigida; b) teorías quimiosintéticas (denominadas “primero el metabolismo” postulan que primero hubo reacciones bioquímicas y rutas metabólicas en células quimioautótrofas); c) teorías genéticas (denominadas “primero los genes” o “Mundo ARN” postulan que los ácidos nucleicos con una transmisión de información y replicación fueron el origen de la polimerización y la complejización de la vida); d) teorías mineralógicas o mixtas (combinan aspectos de las dos anteriores y relacionan el origen de la vida con la intervención necesaria de los minerales y la organización de los procesos de complejización). Ver trabajo de Casado *et al.* (2011) para mayor detalle sobre cada grupo de teorías y los científicos que han apoyado cada una.

Los Biominerales del Cuerpo Humano

Objetivos: 1) introducir terminología cristalográfica y mineralógica poco atractiva para el alumnado en relación con aspectos fisiológicos de los seres humanos, que son más conocidos y más atractivos a la vista de los estudiantes; 2) entender la relación directa existente entre el funcionamiento del cuerpo humano y los elementos químicos que hay en el organismo y cómo algunos de estos elementos, aún estando presentes en

cantidades muy pequeñas, son imprescindibles para el correcto funcionamiento del organismo (molibdeno o zinc entre otros); 3) Entender cómo algunos minerales (biominerales) son beneficiosos para la actividad y la propia existencia del organismo pero que su alteración, aumento o disminución pueden ser causantes de patologías; 4) comprender que hay una interrelación entre la alimentación y los procesos de biomineralización en el cuerpo; 5) valorar el estudio de los restos fósiles como llaves para la comprensión de los biominerales en los seres vivos; 6) valorar el trabajo de equipos multidisciplinares (biólogos, médicos, mineralólogos, químicos, paleontólogos, etc.) como la mejor forma de conocer todos los aspectos relativos a los biominerales, y la posibilidad de abrir nuevos espacios laborales como la Geología Médica.

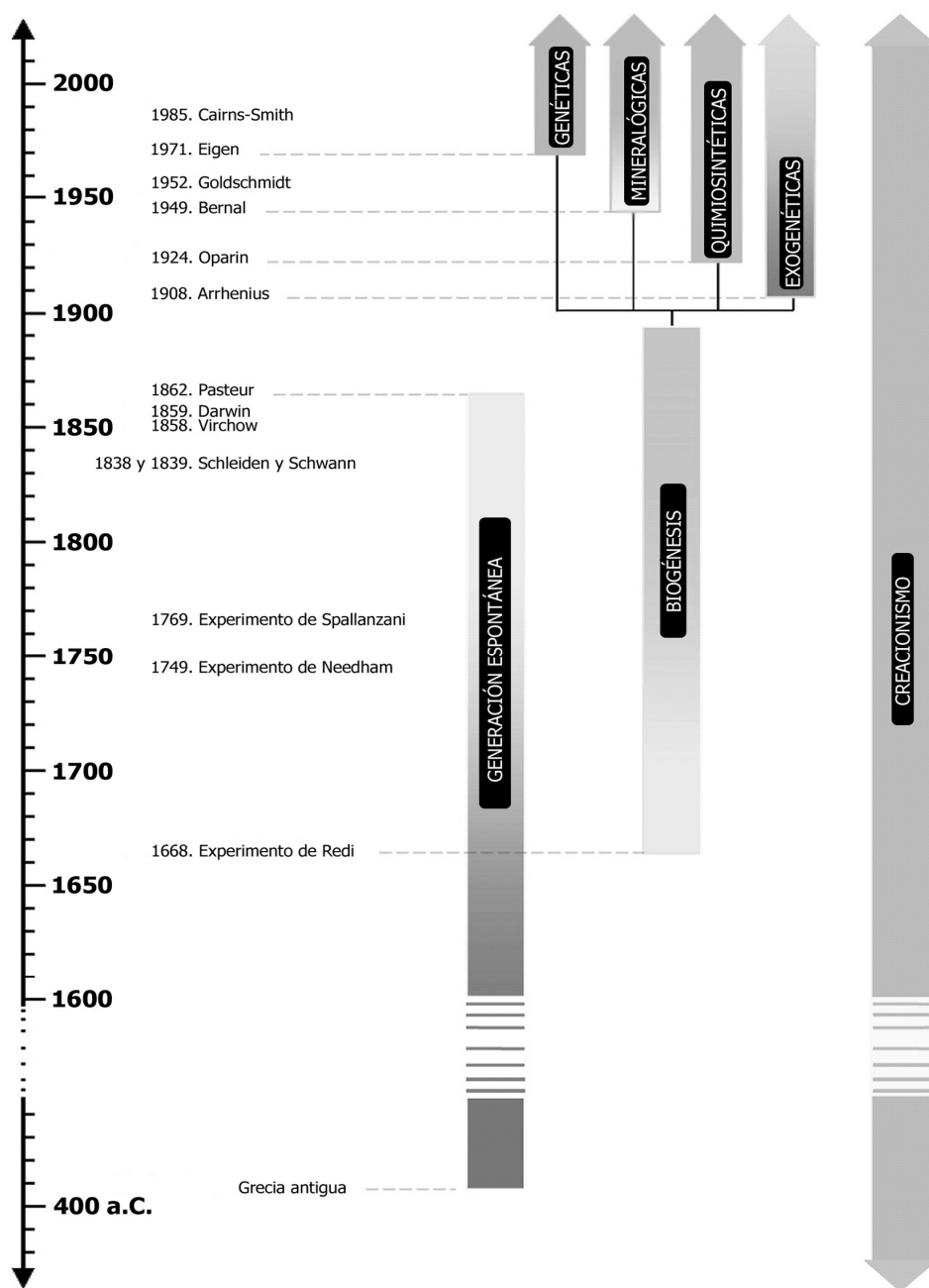


Figura 8.3- Evolución de las diferentes teorías que han intentado explicar el origen de la vida en la Tierra, con indicación de algunos personajes históricos relevantes en esta temática. Las tonalidades de grises son más intensas cuanto mayor aceptación tenía una teoría en una época determinada (Modificado de Casado *et al.*, 2011).

Fundamentos teóricos: En el trabajo de Fesharaki y Taboada, “Los procesos de biomineralización en humanos: un enfoque didáctico interdisciplinar” (Fesharaki y Taboada, *enviado*), se propone el tema de los biominerales del cuerpo humano como una forma de convergencia de la Geología y la Biología, a través de sus ramas de la Mineralogía (y la Cristalografía) y la Fisiología (y la Bioquímica), respectivamente. Se propone como una alternativa o un complemento a la enseñanza actual de temas de cristalografía y algunos conceptos de mineralogía. Aprovechando la gran carga lectiva de fisiología, bioquímica e inmunología que imponen los actuales planes de estudios en Bachillerato de Ciencias, y la predisposición, en general, positiva del alumnado hacia estos temas, se propone la explicación de conceptos de cristalografía y clasificaciones de minerales, por lo general, menos conocidos y peor valorados por el alumnado, en relación con algunas de las mineralizaciones tanto beneficiosas como perjudiciales que aparecen en el cuerpo humano.

Un sistema vivo es aquel que realiza un intercambio activo de sustancias con el entorno (medio-sistema abierto) que le rodea. La presencia y la perpetuación de los procesos vitales requieren la regulación de estos niveles de intercambio. Los biominerales son un buen ejemplo de esta interacción entre la materia viva y su entorno, ya que son compuestos orgánicos cristalinos que se forman en el interior de la materia viva (animal o vegetal) o en su entorno inmediato. Son el resultado de una serie muy compleja de reacciones en ciertas células de los organismos que posteriormente van a dar lugar a la formación de tejidos y otros materiales (huesos, dientes, caparazones, cáscaras, perlas, etc.) a temperatura ambiente (Carretero y Pozo, 2007).

En el área de las Ciencias Naturales, diversos autores han destacado temas que interrelacionan la Biología y la Geología. Así, para Sorauf (2005) y Boskey (2007) la biomineralización es uno de los tópicos que debe ser valorado como nexo de unión entre ciencias como la Paleontología (que estudia los restos de dientes, esqueletos, conchas, etc.), la Mineralogía (que ayuda a comprender cómo los materiales mineralizados constituyeron vías para descifrar microestructuras complejas o los cambios diagenéticos que han ocurrido en los fósiles) y la Biología (que estudia la fisiología, funciones vitales y otras características de los seres vivos que produjeron esos biominerales). La Geología Médica, es una nueva rama de la Geología que relaciona factores geológicos con la salud humana y la distribución geográfica de patologías relacionadas con factores ambientales. Esta es una ciencia multidisciplinar que aúna conceptos y métodos de Mineralogía, Ciencias Ambientales, Geoquímica, Geografía, Biología, Medicina, etc. (Sahai *et al.*, 2006).

Resumen de la actividad propuesta: Esta actividad está indicada, con las pertinentes adaptaciones, para alumnos de 2º de Bachillerato y primeros cursos de Grados de Ciencias. La actividad se puede dividir en tres fases: 1) en la primera fase se trata de repasar los conceptos de fisiología que deben tener los alumnos que hayan cursado la asignatura de Biología, la mayoría de los que van a elegir Grados de Ciencias; 2) posteriormente, se puede proceder, mediante la lectura guiada y debates en el aula, o mediante el trabajo grupal y exposiciones-debates en el aula; en cualquiera de las dos opciones, u otras que consideren los docentes, se puede empezar con alguna actividad de motivación, como el visionado de documentales sobre los biominerales, en general, y los presentes en humanos en particular, o la lectura de casos médicos y su discusión, como los de biominerales patológicos (fotos de microscopía óptica y electrónica de los biominerales más comunes en el cuerpo humano), o por medio de

preguntas dirigidas como ¿Qué es un biomineral? ¿Un biomineral es un mineral? ¿Conoces algún mineral o biomineral que forme parte de un ser vivo? ¿Conoces algún biomineral del cuerpo humano? ¿Crees que todos los biominerales son beneficiosos para los seres humanos? ¿Crees que los hábitos de vida (alimentación, deporte,...) tienen relación con el desarrollo de biominerales patológicos? ¿Sabes lo que son los otolitos? y cualquier otra que genere cierto debate y motivación en la clase; 3) una vez que se ha conseguido el interés del alumnado se deben introducir las clasificaciones de los principales biominerales del cuerpo humano (Tabla 8.2) y su acción beneficiosa o perjudicial; se puede aprovechar para introducir conceptos de cristalografía y mineralogía según el curso al que vayan dirigidos (procesos de mineralización, estructura y cristalografía mineral, estabilidad mineral, sistemas cristalinos, isomorfismo y polimorfismo, nucleación, número y poliedro de coordinación, empaquetado, sustituciones catiónicas y aniónicas, soluciones sólidas, ejes y planos de simetría, defectos cristalinos, etc.); 4) en la fase final es importante que los alumnos se den cuenta de la visión multidisciplinar necesaria para tratar este tema y que valoren los hábitos de vida saludables (uno de los temas transversales en la Educación Secundaria) como forma de aminorar las probabilidades de desarrollar patologías relacionadas con los biominerales. Finalmente, esta propuesta debe servir para que los alumnos comprendan la importancia de los minerales en muchos campos de la Ciencia, algunos tan importantes como los que tienen que ver con la salud humana (Geología Médica).

Grupo	Fase Mineral	Fórmula cristaloquímica	Localización
Fosfatos	Hidroxiapatito*	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$ (hexagonal)	En huesos y dientes con ciertas impurezas y en calcificaciones patológicas (renales, biliares, tumorales)
	Fosfato octacálcico	$\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	En cálculos dentales
	Brushita	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Cálculos dentales y renales y en menor medida en huesos
	Whitlockita	$\text{Ca}_{18}\text{Mg}_2\text{H}_2(\text{PO}_4)_{14}$	Cálculos renales, dentales y salivares; lesiones por caries dentales; calcificaciones de pulmones tuberculosos.
	Estruvita	$\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Cálculos renales y biliares
Oxalatos	Whewellita*	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (monoclínico)	Cálculos renales
	Weddellita*	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (tetragonal)	Cálculos renales
	Caoxita*	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (triclínico)	Cálculos renales
Carbonatos	Calcita*	CaCO_3 (trigonal)	Otolitos del oído, cálculos renales y biliares, glándulas salivales
	Aragonito*	CaCO_3 (rómico)	Cálculos biliares
	Vaterita	CaCO_3	Cálculos renales y biliares
Uratos	Ácido Úrico	$\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$	Sistema urinario
Óxidos	Magnetita	Fe_3O_4	Sistema urinario
	Goethita/Lepidocrocita	FeOOH	Sistema urinario
	Hematites	Fe_2O_3	Sistema urinario

Tabla 8.2- Tipos de biominerales más comunes en el cuerpo humano, modificado de Elliot (2002) y Wenk y Bulakh (2004). Aparecen con asterisco los minerales que son tratados en mayor profundidad en el texto del trabajo de Fesharaki y Taboada (*enviado*).

Otras Posibilidades

Otras propuestas están en fase de preparación, pero persiguen los mismos objetivos generales que los dos trabajos expuestos en los párrafos anteriores, es decir, buscan vías de convergencia entre la Geología y otras ciencias, en especial la Biología, que al mismo tiempo permitan al alumno conocer y valorar otros campos de la Geología que no son comunes en sus libros de texto.

- El trabajo sobre las capacidades didácticas de la Geobotánica, persigue mostrar otro campo entre la Geología y la Biología, a través de sus ramas de la Edafología (relacionada con la litología, mineralogía, meteorización, clima, topografía, etc.) y la Botánica (fisiología vegetal, biogeografía vegetal, etc.). El suelo es uno de los temas más recurrentes en todos los currículos, como se puede ver en el Anexo IV. Esto permite la introducción de talleres y actividades relacionadas con el estudio de las características y la clasificación de los suelos, así como la relación que tienen éstos con las plantas, algunas de las cuales están unívocamente asociadas a determinados tipos de suelos. El alumno, además de poder disfrutar de una actividad de campo (descripción de las rocas bajo el suelo, del color, la estructura, los diferentes horizontes, etc., y muestreo de suelos y plantas de varias localidades) y los posteriores talleres (analizar el color con tablas de Munsell, análisis textural con varios tamices, observar alguna preparación al microscopio, clasificación de hojas de plantas, etc.), podrá desarrollar una serie de nuevas competencias como la interpretación de mapas, tablas de datos, gráficas binarias y diagramas triangulares, descripciones de *visu* en campo y laboratorio, etc. Se podrían utilizar las publicaciones de Monterde Vitoria (2014) y Monterde Vitoria *et al.* (2015) para motivar a los alumnos, con los hallazgos de estos investigadores en relación con las plantas y los suelos del área de los yacimientos de Somosaguas, y su propuesta de un nuevo método de prospección. Es una actividad que permite su adaptación a los cursos superiores de la ESO, Bachillerato y primeros cursos de carreras de ciencias. Incluso la involucración de profesores de química podría facilitar la realización de la caracterización química de los suelos (pH, salinidad, materia orgánica, etc.).

- El trabajo que apoyándose en las publicaciones realizadas en torno a los estudios paleoclimáticos del yacimiento de Somosaguas indaga en las posibilidades didácticas de los estudios multidisciplinarios (asociaciones y paleoecología de fauna y flora fósil, señales isotópicas, variaciones en las asociaciones y la cristaloquímica de minerales, etc.) que permiten inferir condiciones paleoambientales y paleoclimáticas. Está principalmente pensado para ser una propuesta de trabajo grupal para alumnos que cursen asignaturas de Geología en primeros cursos universitarios (p. ej. Geología aplicada a la Biología). Se preparan una serie de datos procedentes de todos estos campos, una serie de tablas y publicaciones con datos sobre los diferentes indicadores y se pide a los alumnos la interpretación de los resultados y la redacción de un pequeño informe o su presentación pública y discusión en el aula. De nuevo se refuerzan una serie de competencias básicas y se introducen aptitudes como la síntesis de información y la integración de datos procedentes de diferentes tipos de investigaciones. El hecho de disponer de datos reales publicados en revistas científicas tiene un factor motivador para que los alumnos entiendan que éstas son líneas de investigación que se llevan a cabo actualmente y no ejemplos inventados con datos irreales.

8.3.2.2- Factores que Influyen en el Conocimiento de la Geología y Propuestas Didácticas

En relación con la segunda línea de trabajo, se busca conocer qué fuentes de información tienen mayor peso en los conocimientos geológicos de los estudiantes (colegio o universidad, cine y medios de comunicación, museos y exposiciones temporales, literatura e Internet, cultura general a través de amigos y familiares). El trabajo de Romero-Nieto *et al.* (2014b) inicia esta línea de trabajo con el campo de la Paleontología. Este trabajo inicial evalúa los conocimientos en Educación Obligatoria (Primaria y Secundaria), y están realizándose un trabajo similar a nivel universitario, y

otro para la educación obligatoria en otros países del Mundo. Ambos trabajos evalúan los conocimientos generales sobre la Paleontología en estos niveles educativos y las posibles variaciones según el nivel educativo y tipo de centro (Primaria vs. Secundaria; Público vs. Privado, en el caso de la educación Obligatoria), la carrera y el curso (en el nivel universitario) y el género del alumno, en ambos trabajos. Como se puede ver en los desarrollos de las temáticas tratadas en la Educación Obligatoria y Bachillerato (Anexo IV) la Paleontología como disciplina científica está ausente en el diseño curricular de Educación Primaria desde el inicio de la LOGSE. En Educación Secundaria Obligatoria, se hablaba explícitamente de la Paleontología en la LGE en 1º de BUP, aunque de forma indirecta aparece mencionado en relación con la evolución o el origen de la vida en 1º de ESO de las leyes posteriores. Éste será el único contacto que tendrán los alumnos en el colegio con esta temática, ya que posteriormente se vuelve a desarrollar en 4º de la ESO y en Bachillerato, cuando las asignaturas en las que se incluye son optativas y por lo tanto habrá muchos alumnos que no las cursarán. Esta falta de horas lectivas en relación con esta ciencia, tan interesante por su posición intermedia entre la Biología y Geología, queda reflejada en los escasos conocimientos básicos de Paleontología que tienen los estudiantes españoles, esencialmente en lo relativo a la ordenación temporal de eventos relacionados con la evolución de la vida en la Tierra (Colomer *et al.*, 1993; Bazán y Vides, 1995; Castilla y de la Iglesia, 2008; Romero-Nieto *et al.*, 2014b). No obstante la Paleontología, y en especial los dinosaurios y los homínidos, “invaden” nuestro día a día, estando presentes en los medios de comunicación, en los dibujos animados y las películas, en regalos promocionales en bollería industrial, etc. lo que indica un interés importante por parte de la sociedad en esta temática (Sanz y Santos-Cubedo, 2007; Millán, 2010).

Son múltiples las publicaciones que hacen referencia al poder didáctico y motivador de las películas relacionadas con cualquier materia impartida en los centros educativos (Bergillos Ruiz, 1993; García Borrás, 2011; Petit Pérez y Solbes Matarredona, 2012), y al mismo tiempo son criticadas muchas películas por dar una imagen irreal de la ciencia cuando no negativa (Palacios, 2006; García Borrás, 2008; Elías, 2010). Sin embargo, no se ha realizado hasta el momento ningún trabajo analítico sobre la influencia del cine y otras fuentes de información en el grado de conocimientos científicos concretos. Así, en el trabajo de Romero-Nieto, García Yelo y Fesharaki “Paleontología y Enseñanza Obligatoria. Fuentes y grado de conocimiento” (Romero-Nieto *et al.*, 2014b), que resumimos en este apartado, queremos descubrir el grado de conocimiento paleontológico que tienen los alumnos de Educación Obligatoria en España y cuáles son sus fuentes preferentes de información, en relación con esta temática.

Este trabajo preliminar recoge los datos procedentes de 100 cuestionarios realizados por alumnos de Educación Obligatoria de la ciudad de Madrid. Un trabajo más amplio (más de 200 encuestados) está en proceso de revisión editorial para su publicación, aunque a grandes rasgos proporciona los mismos resultados que este trabajo. Los encuestados rellenaban un cuestionario anónimo, en el que incluían datos de su código postal, nacionalidad, edad, género, curso matriculado y tipo de centro (público o privado) en el que cursan sus estudios. Se exponían 19 preguntas en torno a la Paleontología, que tenían en su desarrollo la referencia a alguna película de trasfondo paleontológico, aunque no era necesario haber visto esa película para contestar correctamente a la pregunta. Además, se incluía una pregunta final sobre las fuentes de información que había usado para contestar al cuestionario. Finalmente, se incluía un listado de películas paleontológicas para que señalasen las que habían visto.

Los resultados obtenidos indican que del total de estudiantes encuestados, el 27% aprobaría (10 de 19 respuestas acertadas) y solo un 2% sacaría el equivalente a un notable (14 o más respuestas acertadas). Esto indica que los conocimientos generales sobre Paleontología son escasos. Aunque cabe aclarar que las cuestiones tenían diferentes grados de dificultad y las clasificadas como nivel básico fueron mejor resueltas que los de nivel intermedio y superior. Se han observado diferencias significativas en la medida de los aciertos de los diferentes grupos de análisis (Tabla 8.3) para las cuestiones básicas e intermedias, aunque no para las superiores. Este dato puede estar influenciado por el bajo número de estudiantes que han podido responder cuestiones del nivel superior.

Grupos de Análisis	N	Acierto Total		Nivel Básico		Nivel Intermedio		Nivel Superior	
		\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
Pr/P/H	25	0,381	0,173	0,509	0,277	0,360	0,280	0,280	0,202
Pr/P/M	13	0,344	0,128	0,505	0,252	0,231	0,123	0,260	0,165
Pr/S/H	6	0,386	0,092	0,762	0,173	0,250	0,158	0,125	0,112
Pr/S/M	7	0,383	0,285	0,694	0,416	0,179	0,313	0,214	0,225
Pu/P/H	2	-	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-
Pu/P/M	8	0,289	0,218	0,554	0,393	0,188	0,222	0,109	0,182
Pu/S/H	19	0,496	0,185	0,827	0,255	0,434	0,321	0,237	0,216
Pu/S/M	20	0,361	0,216	0,607	0,398	0,375	0,222	0,138	0,172
Total	100	0,379	0,199	0,610	0,338	0,320	0,264	0,208	0,196
Estadísticos		F = 2,541 p = 0,019		F = 3,271 p = 0,004		F = 2,146 p = 0,046		F = 1,931 p = 0,073	

Tabla 8.3- Datos obtenidos del análisis ANOVA realizado sobre 100 cuestionarios. N= Número total de datos; \bar{X} = media; σ = desviación típica; Pr = privada; Pu = pública; P = primaria; S = secundaria; M = mujer; H = hombre (Tomado de Romero-Nieto *et al.*, 2014b).

Por otra parte, la Tabla 8.3 expone los datos obtenidos mediante un análisis ANOVA, en la que queda claro que los mejores resultados son los obtenidos por varones de Educación Secundaria de centros públicos. El hecho de tener un mayor número de estudiantes de Educación Secundaria que aprueban el test, parece estar directamente relacionado con la mayor presencia de esta ciencia en la ESO y en todo caso a la acumulación de conocimientos que han adquirido a lo largo de cursos previos. No están tan claros los otros dos factores (tipo de centro y género).

Del estudio se deduce que la fuente de información principal es el colegio para el 37,1% de los aprobados, seguido del cine (29,6%), y la combinación de ambas fuentes (22,2%). Solo un 11,1% de los aprobados habían utilizado fuentes de información diferentes, como los libros, los museos, Internet o los familiares. Los tres alumnos con mejor nota indicaron solo el colegio como su fuente de información, lo que sugiere que por muy interesante que sea el cine como método motivador no lo es tanto como método efectivo de enseñanza veraz de la Paleontología. El escaso porcentaje de alumnos que marcaban otras fuentes indica la poca influencia que tienen en la difusión de la Paleontología en estos niveles educativos. Por lo tanto, el cine parece ser la única fuente eficaz de divulgación para alumnos de estas edades.

En cuanto a las cuestiones concretas se observa que la mayoría de los conceptos del nivel básico (posibilidad de revivir animales extintos o la coexistencia temporal y espacial entre dinosaurios y humanos) están relativamente bien asentados para un 55% y 70%, respectivamente. Sin embargo, la ordenación temporal de periodos geológicos o la

existencia de insectos gigantes en Eras pasadas (niveles Intermedio y Superior) no están tan claras. Este es un resultado esperado, en cuanto que estudios previos ya han indicado el problema de la ordenación temporal y el conocimiento de invertebrados como puntos problemáticos del conocimiento paleontológico (p. ej. Castilla y de la Iglesia, 2008).

Finalmente, del total de los estudiantes que tienen el cine como principal fuente de información, las diferencias entre los que mejores resultados han obtenido y los que han suspendido, se pueden explicar en términos de visionado de películas de mayor o menor rigor científico, respectivamente, según la propuesta de Romero-Nieto *et al.* (2013). Como ejemplo de este efecto negativo de las películas con escaso rigor científico se puede citar el bajo porcentaje de acierto (14%) en la asignación del *Tyrannosaurus rex* al Cretácico (por su asociación con “Parque Jurásico”). La existencia de información errónea en el cine no es exclusiva ya que también se da en los medios de comunicación, los libros de texto o en la ilustración científica (Brusi *et al.*, 2008; Sellés-Martínez, 2010, 2012; Ansón *et al.*, 2015; Sanisidro *et al.*, 2015; Vidal y De Miguel, 2015), siendo seguramente uno de los factores que influyen en las concepciones erróneas que tienen los ciudadanos y en particular los estudiantes.

Estos resultados nos sugieren importantes diferencias según las fuentes de información en el conocimiento paleontológico a nivel de Educación Secundaria y por lo tanto, será interesante ver los resultados que se obtienen para cursos superiores, otros campos de la Geología y finalmente sus comparaciones con los resultados obtenidos en otros países.

8.3.2.3- Evaluación de Conocimientos de Geología en el Grado en Geología de la UCM y Propuestas Motivadoras

En relación con la tercera línea de propuestas se han publicado dos trabajos que plantean actividades de aprendizaje y evaluación de conocimientos geológicos a nivel universitario. En este caso la base teórica ha sido más amplia y abarca casi todos los conocimientos que se imparten en los Grados de Geología de España (Paleontología, Estratigrafía y Medios Sedimentarios, Sedimentología, Petrología, Mineralogía, Geoquímica, Geofísica, Geodinámica Interna, Geodinámica Externa, etc.). El trabajo de Rodríguez-Pérez *et al.* (2014b) muestra el diseño de una *gymkhana* geourbana como método de aprendizaje y evaluación en Geología, mientras que el trabajo de Rodríguez-Pérez *et al.* (2015) evalúa la efectividad de esta *gymkhana* llevada a cabo con un grupo de alumnos de 2º a 4º cursos de Grado en Geología de Madrid.

Como ya hemos comentado en apartados anteriores, por diferentes causas se viene registrando un abandono de alumnos tras el primer y segundo cursos del Grado en Geología de la UCM, lo que debe ser común en otras universidades según los datos mostrados por Moral y Olías (2012). Esta circunstancia podría aminorarse en lo referente a los alumnos que abandonan por motivos educativos y no por los socioeconómicos, introduciendo una serie de actividades que mejoren la integración de los alumnos de nuevo ingreso y la motivación por esta ciencia de los alumnos de los primeros cursos. Una propuesta es la realización de una *gymkhana* geológica por la ciudad de Madrid y sus alrededores. Trabajos sobre rutas geo-monumentales y la Geología urbana (Díaz Martínez y García Pardo, 1988; Pérez-Monserrat *et al.*, 2008; Lozano *et al.*, 2010, Hontecillas y Santamaría, 2014, entre otros) o sobre el valor didáctico de museos y exposiciones científicas (Melgar y Donolo, 2011; Pérez Campillo

y Chamizo, 2011, entre otros) han puesto de manifiesto el gran valor didáctico para la enseñanza de la Geología que tienen este tipo de actividades. Pero como comentan Rodríguez-Pérez *et al.* (2014b), en su mayoría, las rutas geo-monumentales y las visitas guiadas a museos se realizan para un público general y suelen ser expositivas, lo que no hace plenamente co-partícipes a todos los asistentes, y el nivel es el adaptado a un público ajeno a la Geología. Pero ¿por qué no utilizar estas rutas para motivar a los propios alumnos de Geología? Con este objetivo se han escogido una serie de rutas en las que se incluían facultades, museos o exposiciones temáticas. Para motivar a los alumnos asistentes a la actividad se han hecho grupos de 5 alumnos que a modo de competición han tenido que terminar una determinada ruta, acompañados de un monitor. Los monitores hemos sido dos alumnos de Master pertenecientes al grupo de Educación del EIIGPBS y el coordinador de este grupo. El uso de juegos como forma de aprendizaje ha demostrado ser una forma muy válida de motivación en diferentes campos de la ciencia (Castilla *et al.*, 2006; Alonso-Zarza *et al.*, 2008; López González y Rodrigo Hitos, 2011), por lo que se pueden unir los aspectos positivos de las rutas geo-monumentales y los de las actividades recreativas para hacer una actividad motivadora. Uno de nuestros principios para plantear la actividad era que cada estudiante resultase el centro del proceso de aprendizaje y que formase parte de un grupo con un objetivo común, que enmascarado en la forma de una *gymkhana*, era el propio aprendizaje de conceptos y la adquisición de competencias básicas para cualquier geólogo (Rodríguez-Pérez *et al.*, 2015).

A modo de resumen se incluyen a continuación diferentes aspectos de la *gymkhana* propuesta, aunque para más detalles y ejemplos de los cuestionarios se remite al lector a los trabajos de Rodríguez-Pérez *et al.* (2014b y 2015):

- 1) Por sus especiales características y posibilidades didácticas, la Facultad de Ciencias Geológicas (UCM) y el yacimiento paleontológico de Somosaguas, han sido los puntos inicial y final de todas las rutas planteadas.
- 2) Los temarios utilizados han sido los que aparecen en el currículo oficial de cada curso para el Grado de Geología en la UCM, adaptados a los puntos geodidácticos de cada ruta
- 3) Para introducir la necesidad de que todos los alumnos participen (Paschoale, 1984; Hodson, 1993), se realizó el reparto de roles de especialistas en diferentes ramas de la Geología, que obligó durante el recorrido a que en cada prueba uno de los alumnos liderase el grupo. Pero también ha sido fundamental el trabajo y la toma de decisiones grupal, como se verá en los resultados.
- 4) La introducción de pruebas “divertidas” como la mímica, los dibujos con palabras “tabú”, o los castigos ante pruebas fallidas pretenden generar un ambiente distendido en el que los alumnos se sientan cómodos y sin presión y por lo tanto, que los conceptos que aprendan puedan ser significativos (Figura 8.4). A esto contribuye el hecho de que los monitores sean alumnos de niveles educativos ligeramente superiores y muy próximos en edad (Oliveros Martín-Varés, *et al.* 2003).
- 5) La existencia de un hilo conductor, en este caso el “tema incógnita”, es imprescindible en el desarrollo de este tipo de actividades para que no sean una mera sucesión de paradas y por lo tanto, motiva a los alumnos a poder terminar su ruta lo antes posible y descubrir dicho tema, relacionado con algún aspecto de la Geología (un autor destacado en la historia de la Geología, un tipo de proceso

o material geológico, un lugar de especial interés geológico, etc., ver ejemplos en los anexos de Rodríguez-Pérez *et al.*, 2014b).

- 6) Las pruebas han sido muy diversas (ver Figura 8.4a-g) y para facilitar su reparto entre las diferentes rutas se han clasificado en cuatro categorías: 1) pruebas objetivas (tests de opción múltiple, ordenación de fotogramas, unión de términos de dos columnas, etc.) que evalúan los conocimientos teóricos; 2) pruebas de destreza (uso de mapas, brújula, o móviles con GPS para medir direcciones, buzamientos, orientase, lanzar visuales, etc., o la búsqueda de información mediante el uso de las TIC como en *Google Earth*) que midan las aptitudes del alumno en geología práctica; 3) pruebas de actitud, en las que los alumnos deben resolver en grupo o individualmente y con límite de tiempo situaciones problemáticas (se han utilizado la mímica, los dibujos, etc.); 4) pruebas de memoria visual, que inciden en una de las capacidades más importantes para un geólogo, que es la observación y descripción (dibujos, esquemas, textos, etc. sobre un punto de observación objeto de preguntas en otro momento posterior de la *gymkhana*).

Como resultados generales podemos destacar que:

- Los propios monitores hemos tenido la oportunidad de adquirir muy diversos conocimientos durante la búsqueda de puntos de interés geodidáctico y el posterior desarrollo de las *gymkhanas*, lo que repercute directamente en nuestra capacidad docente y organizativa de actividades. Además, al realizar actividades de todos los campos de la Geología hemos tenido que revisar conceptos y técnicas de éstas, lo que ha supuesto un refuerzo de nuestros conocimientos.
- Los alumnos de primer curso se han mostrado muy interesados en las actividades realizadas sorprendiéndose de la posibilidad de “hacer geología” en cualquier lugar de la ciudad (Figura 8.4), e integrándose en la vida de facultad con más interés.
- Una de las capacidades más importantes de potenciar en los alumnos es la autoevaluación (Manduca, 2007), es decir, que puedan reparar en sus errores y lo que desconocen para poder buscar las respuestas que necesitan. Esta actividad les ha permitido evaluar sus conocimientos y aptitudes en relación con temas de las asignaturas que habían cursado en la carrera y por lo tanto, darse cuenta de sus conocimientos, pero también interesarse por la búsqueda de nuevas aptitudes y la superación de sus limitaciones. Además, el trabajo grupal les ha permitido un intercambio de conocimientos en un ambiente cooperativo. Para ver cómo han sido valorados estos aspectos por los alumnos de los diferentes cursos se remite al trabajo de Rodríguez-Pérez *et al.* (2015).
- Según se deduce de los comentarios posteriores a la actividad, el tipo de pruebas desarrolladas ha permitido aumentar la confianza de los participantes en sus aptitudes para la Geología al mismo tiempo que les ha motivado a seguir aprendiendo Geología, incluso en los campos de ésta que *a priori* no les entusiasaban.



Figura 8.4- Diversos momentos de las *gymkhanas* geourbanas por Madrid: a) observación de fósiles en las baldosas del metro de Ciudad Universitaria; b) buscando pistas en una vitrina del Museo Geominero; c-d) obteniendo información de paneles en estaciones de metro; e) midiendo distancias sobre los planos zonales del Metro; f) lanzando visuales desde el alumnario de la facultad de Ciencias Geológicas; g) interpretando mediante mímica palabras geológicas; h) penalización consistente en ir de una parada a otra cogidos de la cintura.

Como resultados específicos de los conocimientos evaluados (Tabla 8.4) se pueden destacar (Rodríguez-Pérez *et al.*, 2015):

- Para aproximadamente un 70% de los participantes en la *gymkhana* ha supuesto el aprendizaje de conceptos y la adquisición de conocimientos prácticos nuevos o el refuerzo de algunos conceptos previamente adquiridos en la carrera.
- Los conocimientos previos a la actividad eran mejores en Paleontología y peores en Petrología, este dato puede estar influenciado por el realmente mal resultado obtenido por los alumnos de 2º en Petrología, algo que es comprensible teniendo en cuenta que aún no han cursado ninguna asignatura específica de esa rama. La misma tendencia se observa en los cuestionarios post-actividad, lo que achacamos a los bajos conocimientos iniciales de los alumnos, ya que el porcentaje de mejoría ha sido similar en los diferentes campos (5-10%).
- Como era esperable, los mejores resultados globales se obtienen en 4º seguidos de 3º, demostrando que estos alumnos han adquirido unos conocimientos más variados y complejos.
- El aumento de conocimientos ha sido inversamente proporcional al curso de los alumnos, por lo que creemos que este tipo de actividades son más adecuadas para los primeros cursos, proponiendo, para los últimos cursos, actividades más relacionadas con el mundo laboral.
- Se ha observado que la mayor pérdida de conocimientos se ha producido en la rama de la Mineralogía, específicamente en lo que a la Cristalografía se refiere. Este hecho, esta muy influenciado por los malos resultados de los alumnos de 4º curso, lo que creemos que debería ser valorado por los docentes que imparten asignaturas relacionadas con la Cristalografía.

Ramas de la Geología											
Paleontología			Estratigrafía		Geodinámica		Mineralogía		Petrología		
Cursos	Previo	Posterior	Previo	Posterior	Previo	Posterior	Previo	Posterior	Previo	Posterior	Medias por curso
2°	68%	80%	55%	68%	62%	68%	69%	75%	39%	55%	58,6/69,2
3°	75%	79%	58%	65%	58%	65%	72%	79%	57%	64%	64,0/70,4
4°	73%	76%	66%	75%	73%	75%	62%	67%	70%	76%	68,8/73,8
Medias por rama	72,0	78,3	59,7	69,3	64,3	69,3	67,6	73,6	55,3	65,0	

Tabla 8.4- Porcentajes de aciertos obtenidos a partir de los datos de Rodríguez-Pérez *et al.* (2015) agrupados por curso y rama de la Geología. En los porcentajes de evaluaciones pre-actividad se realiza la media entre la prueba previa y la *gymkhana*, mientras que el porcentaje para la evaluación post-actividad se obtiene directamente de su valor numérico (Tomado de Rodríguez-Pérez *et al.*, 2015).

8.4- Propuestas en torno a la Divulgación

Como ya se ha comentado en los apartados anteriores, las posibilidades de tener una educación obligatoria suficiente en temas geológicos, o al menos al mismo nivel de otras ciencias, es reducida y depende más del buen hacer de los individuos (profesores, padres, otros familiares, amigos, etc.) que de los medios materiales disponibles y las leyes educativas planteadas a nivel autonómico y estatal. Este hecho y otros comentados anteriormente hacen que de forma general el conocimiento y la valoración de la Geología por la sociedad no esté, al menos, al mismo nivel que otras ciencias, como la

Física o la Biología. Sin embargo, hay una importante labor a realizar por parte de los propios geólogos: la divulgación de nuestros conocimientos. Según el informe COSCE (Pardo *et al.*, 2005), los investigadores que recibimos recursos públicos, ya sea en forma de becas de formación o de proyectos de investigación, debemos corresponder a la sociedad, que por medio de sus impuestos nos financia, y que, en general, nos tiene en alta estima, divulgando nuestros trabajos de forma comprensible. Solo de esta forma nuestro trabajo revierte de una forma directa en la sociedad y al mismo tiempo mejora el conocimiento y la valoración de nuestra labor científica por parte de ésta, y por lo tanto, permite la puesta en valor de la Geología como ciencia básica y la importancia de proteger y valorar la geodiversidad del entorno que nos rodea. Además, la divulgación nos enriquece a todos los que intervenimos en el planteamiento, ejecución y evaluación de resultados de actividades divulgativas, ya que para realizar esta labor necesitamos ampliar nuestros conocimientos y mejorar nuestras aptitudes comunicativas a la hora de compartir nuestro conocimiento con personas ajenas a esta ciencia.

Según Gutiérrez-Marco (2005), aún estando en mejor situación que hace años, con diversas Ferias y Semanas de la ciencia, museos de Geología, exposiciones temáticas, cursos y campamentos científicos de verano, Geolodías, etc. (Salazar Rincón, 2011; Lozano y Menéndez, 2013; Rodrigo, 2013; Villaseca *et al.*, 2013; Martín Albaladejo, 2014, entre otros), sigue existiendo un déficit en la divulgación de las ciencias y en especial de la Geología y la Paleontología. Gutiérrez-Marco (2005) achaca este hecho principalmente a la poca iniciativa de los propios investigadores y profesionales de la Geología, pero también y de forma determinante a la poca importancia que, desde las instituciones, se le ha dado sistemáticamente a la labor de divulgación realizada por los docentes e investigadores universitarios. Esto es fácil de comprobar solo con leer las bases de cualquier oposición pública para una universidad o centro de investigación, que evalúa de una forma muy clara la producción científica (número de publicaciones por año, el factor de impacto de las revistas en que se publica, el cuartil que estas ocupan, el número y la inmediatez de las citas recibidas, etc.) y la labor docente (número de horas de docencia, diversidad de asignaturas impartidas, etc.), pero no tiene un baremo para la valoración de las labores de divulgación, y que en general van a un apartado de “otras actividades”, que dependiendo del tribunal evaluador podrán contar poco o nada. Según Lacreu (2012), gran parte de los problemas educativos que afectan a la Geología tienen sus raíces en la inacción política.

Otro factor que influye en el bajo conocimiento de las Ciencias de la Tierra son las escasas informaciones, y en ocasiones, de insuficiente calidad científica, que ofrecen los medios de comunicación a la sociedad (Sellés-Martínez, 2010; 2012). Muchos conceptos científicos son adquiridos a través de los medios de comunicación, y por lo tanto, si son correctamente tratados pueden suponer un apoyo importante en la ampliación del conocimiento científico de la sociedad, sin embargo, si se exponen incorrectamente pueden originar la interiorización de nociones incorrectas que son muy complicadas de eliminar (Gascó y Martínez-Pérez, 2007; Castilla y de la Iglesia, 2008, y citas interiores). Así, algunos autores se han hecho eco de algunas aberraciones científicas que han difundido determinados medios de comunicación (Brusi *et al.*, 2008; Santos-Cubedo y Furió, 2008, entre otros), dejando claro la importancia de una información rigurosa. Actualmente, los medios de comunicación más importantes han formado equipos de trabajo especializados en temas científicos (Bravo, 2004), lo que repercute en informaciones bastante rigurosas a la vez que comprensibles para la sociedad, pero, en general, estas informaciones son elegidas según el criterio del propio

periodista, sin tener la opinión de especialistas en Geología, por lo que solo algunos temas geológicos, en general los más impactantes o espectaculares, ocupan espacio en los informativos o la prensa (los homínidos, los dinosaurios y los riesgos geológicos principalmente). Este sesgo informativo repercute en el vago conocimiento de la labor de los geólogos que tiene la sociedad. Según Gutiérrez-Marco (2005) deberíamos ser los propios geólogos los que requiriésemos intervenir en esas informaciones y nos pusiésemos en contacto con los medios para poder asesorarles, ayudando así a mejorar la calidad y variedad de información geológica, y ocupando un sitio que en ocasiones es ignorado y otras veces ocupado por científicos de otras áreas, que intentan explicar problemas geológicos, que trascienden sus conocimientos, en los medios de comunicación.

Actualmente se realizan bastantes acciones de divulgación geológica en España, pero estas son puntuales tanto en el tiempo como en su distribución espacial, concentrándose, en general, en Semanas de la Ciencia, Ferias Científicas o Jornadas de Puertas Abiertas de diferentes Instituciones de Investigación, que suelen desarrollarse en las ciudades de mayor tamaño y población. Así, podemos citar algunas acciones llevadas a cabo en Madrid (Castilla *et al.*, 2006, 2009; García-Frank *et al.*, 2014a,b, Gomez-Heras *et al.*, 2014), Cataluña (Mata-Perelló y Font, 1996; Restrepo Martínez, 2006; Poza *et al.*, 2008) o Comunidad Valenciana (Belinchón, 2005; Lázaro-Calatayud *et al.*, 2008; Poza *et al.*, 2011), pero que rara vez han llegado a poblaciones más reducidas. Tampoco ha sido frecuente que estas acciones lleguen a personas con dificultades, ya sean por problemas sociales (determinados grupos en peligro de marginación) o económicos (poco acceso a la cultura en general y a la ciencia en particular), o por tener unas necesidades educativas especiales por alguna discapacidad intelectual o física. Las propuestas de maletines didácticos o visitas divulgativas a regiones con pocas posibilidades de cultura científica ya han sido mostradas con gran acogida (Belinchón, 2005; Lázaro-Calatayud *et al.*, 2008; García-Frank *et al.*, 2014a), pero de nuevo surge el problema del escaso tiempo que podemos dedicar los investigadores a esta labor, mientras no se reconozca y valore su importancia por parte de las instituciones.

Otra visión complementaria de la importancia de divulgar los conocimientos científicos es la que proporcionan las nuevas herramientas web para la difusión de los trabajos de los científicos. Así, algunas Webs de intercambio de material didáctico y científico (Researchgate, Academia.edu, etc.), con millones de usuarios y de libre acceso desde Internet, pueden servir para valorar de una forma alternativa, mediante el número de visitas y descargas realizadas de los diferentes trabajos de un investigador, la importancia divulgativa que tiene cada uno de sus trabajos. Por ejemplo, hemos seleccionado tres publicaciones realizadas a lo largo del periodo de doctorado y Tesis, para ver su repercusión en estas webs. Uno de trabajos previamente comentados (Casado *et al.*, 2011), que expone las teorías sobre el origen de la vida, recibió en su primer año en estas Webs cerca de 1250 visitas; otro trabajo de divulgación (Rodríguez-Pérez *et al.*, 2014), que se desarrolla en el siguiente apartado sobre papeles de geólogos en el cine, ha recibido unas 500 visitas en menos de siete meses expuesto en una de estas Webs; mientras que el tercer trabajo (Fesharaki *et al.*, 2005, 2007), que estudia las características genéticas y cristalógicas de las arcillas, recibió tan solo 15 visitas en su primer año en la Web. Además, los dos primeros trabajos, durante muchos meses han estado entre los más vistos y descargados de estas páginas Web, con millones de trabajos de investigadores de todo el mundo (Figura 8.5). Por otra parte, se puede ver como estos trabajos han sido visualizados por muchos países del mundo permitiendo

una difusión de la información realmente amplia (Figura 8.5). Sin embargo, el último trabajo ha sido el único publicado en una revista del SCI y, hasta el momento, ha recibido más de 20 citas. Esta perspectiva no pretende ser una valoración absoluta, ya que harían falta estudios estadísticos con gran número de trabajos y de muy variada índole para poder sacar unas conclusiones, pero sí sirve para visualizar la importancia que tienen los trabajos divulgativos a la hora de dar visibilidad a la labor realizada por un grupo de investigadores, y que no se puede valorar con otros baremos, como los usados para evaluar la producción científica.

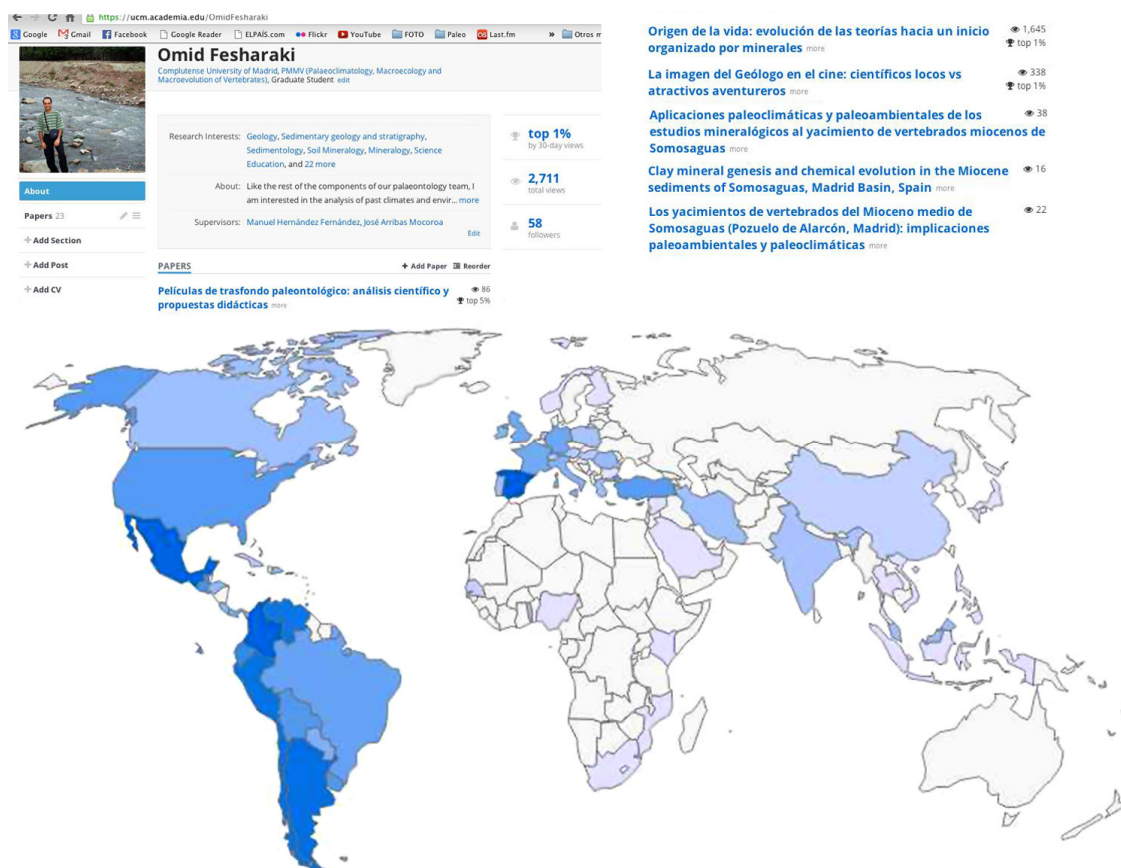


Figura 8.5- Capturas de pantalla que muestran las visualizaciones de algunos de los trabajos de divulgación y educación realizados, con la indicación del porcentaje respecto a los trabajos más vistos en la Web “Academia.edu” durante el correspondiente mes. El mapa inferior indica los países desde los que se han realizado descargas de los trabajos, con tonalidades más fuertes a mayor número de descargas y visualizaciones.

Teniendo en cuenta todas estas premisas se han elaborado dos tipos de actividades de divulgación. Por una parte, las que pretenden llegar a un público general, por medio de una de sus aficiones, el cine. Por otra parte, las actividades planteadas de forma específica para personas con necesidades educativas especiales, que giraban en torno a la Paleontología. Estas actividades de divulgación se han planteado y realizado en el seno de dos proyectos de la UCM y una asociación sin ánimo de lucro, que están realizando grandes esfuerzos en el acercamiento de la Geología al público general y en especial a colectivos de personas con diversidad funcional. Estos son el “Proyecto Somosaguas de Paleontología”, el “Proyecto Geodivulgar: Geología y Sociedad” y “Ciencia sin Barreras: asociación para la divulgación científica inclusiva” (López

Martínez *et al.*, 2005; Castilla *et al.*, 2009; García-Frank *et al.*, 2013; García-Frank y Gomez-Heras, 2015).

8.4.1- Divulgación para Público General

La oferta de talleres divulgativos de contenido geológico, y esencialmente paleontológico, para escolares es relativamente amplia (Gil, 1996; Lacreu, 1997; López García-Gallo y Ramírez, 2001; Martínez Rius, 2002; Castilla *et al.*, 2006; Alcalá *et al.*, 2010a,b, entre otros), pero como ya se ha comentado previamente, se llevan a cabo principalmente en las grandes ciudades, desarrolladas por investigadores o personal de universidades, centros de investigación o grandes museos temáticos. El éxito de las propuestas paleontológicas reside, en gran medida, en la curiosidad que genera la diversidad de criaturas, en muchos casos diferentes a las actuales, que poblaron la Tierra en el pasado y las grandes extinciones que los eliminaron y dieron la oportunidad de diversificarse a otras especies. Esta motivación de partida facilita la introducción del método científico, el razonamiento, e incluso la inferencia de procesos naturales con cierta complejidad. Sin embargo, muchas veces estos talleres están pensados para un determinado lugar, unas determinadas posibilidades materiales (fósiles, réplicas, instrumental de geólogo, etc.) o un determinado nivel de conocimientos de partida, por lo que son difícilmente aplicables en colegios de pequeños pueblos, sin disponibilidad de estos materiales y, cuyos maestros suelen carecer de especialización geológica o paleontológica. Además, tanto la Geología como la Paleontología, están infra-representadas en la Educación Obligatoria (Calvo Hernández y Gil Bazán, 1997; Lacreu, 2012; Romero-Nieto *et al.*, 2014a,b) con lo que los conocimientos teóricos básicos necesarios para comenzar cualquier actividad no se suelen adquirir.

Cuando esta situación perdura en el tiempo, durante la formación en Educación Secundaria y en su caso en la universidad, las personas no adquieren ningún conocimiento sólido sobre la temática geológica, y lo que es peor, no se genera una motivación o una curiosidad por conocer esta rama de la ciencia. Sin embargo, según datos de la “Encuesta de Hábitos y Prácticas Culturales de España en 2010-2011” (Ministerio de Cultura) casi el 50% de la población española acude asiduamente al cine, y la práctica totalidad ven la televisión a diario, siendo las películas su segunda programación favorita, seguida de cerca por las series. Este hecho convierte el cine (las películas de trasfondo geológico o paleontológico) en buenas herramientas para llegar a cualquier rincón de España, y conseguir introducir en la cultura popular ciertos términos y conceptos de estas ciencias, y lo más importante, conseguir dar visibilidad a estas ciencias motivando a los ciudadanos a buscar actividades relacionadas con ellas. En este sentido está claro que los dinosaurios o los homínidos (Sequeiros, 1993; Sanz y Santos-Cubedo, 2007; Sanz, 2009) son muy conocidos entre el público general y en especial entre los más jóvenes, y dado la escasez de esta temática en los centros educativos, su éxito debe residir en el cine y los medios de comunicación. Una circunstancia parecida se observa respecto a los riesgos geológicos (“cine de catástrofes”, Alfaro *et al.*, 2008; Brusi *et al.*, 2008; Millán, 2010), aunque en este caso sí se reciben ciertas nociones durante la Educación Obligatoria.

Se han publicado tres trabajos en torno a las posibilidades que ofrece el cine (Rodríguez-Pérez *et al.*, 2014a; Romero-Nieto *et al.*, 2013, 2014a). Estos trabajos se han publicado en revistas de acceso abierto a toda la ciudadanía y, por lo tanto, a continuación, se exponen brevemente los aspectos principales de cada uno:

En el trabajo de Rodríguez-Pérez *et al.* (2014a) revisamos un extenso número de películas que tienen a los geólogos como personajes principales o secundarios, para comprobar cómo son representados estos científicos por el mundo artístico y, por lo tanto, cuál es la imagen que trasladan, a los espectadores, de los profesionales de la Geología. Muchos han sido los científicos y, entre ellos los geólogos, representados en el cine (Toumey, 1992; Jones, 1997; Martínez Parra, 2000; Flicker, 2003; Weingart *et al.*, 2003), y se pretende descubrir cuáles son los estereotipos más usuales que asigna el cine a nuestro colectivo. Se han seleccionado 64 películas de las que se han obtenido un total de 77 geólogos. Para el análisis cualitativo se han establecido varias categorías: género de la película, nacionalidad del geólogo, profesión y especialidad, sexo, estado civil, nacionalidad, rol y edad. Por otra parte se han clasificado los geólogos según una serie de categorías, no excluyentes, basadas en su aspecto y personalidad dentro de cada película (sabios, sabios descarriados, aventureros, *nerd* o *Hollywood style*; ver características en Rodríguez-Pérez *et al.*, 2014a).

Los resultados obtenidos del análisis indican que:

1) la tendencia general observada es al aumento continuo del número de películas desde la década de los setenta, con saltos cualitativos en los últimos 15-20 años (Figura 8.6). Las principales razones parecen estar en el auge de la ciencia ficción en los cincuenta (Sobchack, 1996), la aparición del “género de catástrofes” en los sesenta (Zamorano Rojas, 2011), la continua mejora tecnológica y de los efectos visuales (Smith, 1986), la globalización de la información, que permite a cualquier ciudadano conocer e interesarse por los desastres geológicos y, en general, la temática científica casi al mismo tiempo que se está produciendo (García Álvarez de Toledo y Fernández Sánchez, 2011), y la proliferación de canales de televisión temáticos de la ciencia ficción, en los que el cine de “catástrofes” y el de “dinosaurios” ocupan un extenso espacio en la programación.

2) El principal estereotipo lo aportan las películas estadounidenses, en las que el geólogo suele ser un sabio, en los campos de la vulcanología o la sismología, que lleva la acción y la trama dramática y/o romántica como protagonista. En general son hombres, norteamericanos, de raza blanca, de mediana edad, activos y aventureros, que no solo trabajan desde sus centros de investigación sino que se acercan al mismo foco de la catástrofe.

3) En el cine geológico no suelen ser los científicos los que generan la amenaza, hecho común con otras ciencias retratadas en el cine, sino que son animales prehistóricos o la naturaleza las que hacen el papel antagonico al del protagonista geólogo. Se observa que el estereotipo de sabio descarriado suele ir asociado a películas de aventuras, en las que sus alocadas teorías son la base para explicar las grandes catástrofes que asolan un lugar. Por otra parte, el *nerd* lleva la carga cómica de la película, a veces como protagonista, en las comedias, y a veces como secundario, en el género de terror o drama, en los que suponen el alivio cómico entre momentos de mayor tensión.

4) En lo que al perfil personal se refiere, se observa que la mayoría de los personajes son hombres, y solo en la última década empiezan a verse protagonistas mujeres. Por otra parte, mientras que a mediados del siglo XX la mayoría de los protagonistas

estaban casados y eran padres, en la actualidad suelen ser protagonistas de una historia de amor que transcurre de forma paralela a la propia acción de la película. A este respecto hay que destacar que las pocas mujeres presentes cambiaron más tarde su rol, de mujeres casadas y madres, que los hombres. Finalmente, el predominio de personajes de mediana edad puede responder directamente a que es difícil compaginar un personaje muy activo y con muchos conocimientos con un personaje muy joven o muy mayor. De forma general, se observa una tendencia parecida, aunque siempre más tardía, al avance de la propia sociedad occidental (la que principalmente realiza este tipo de cine).

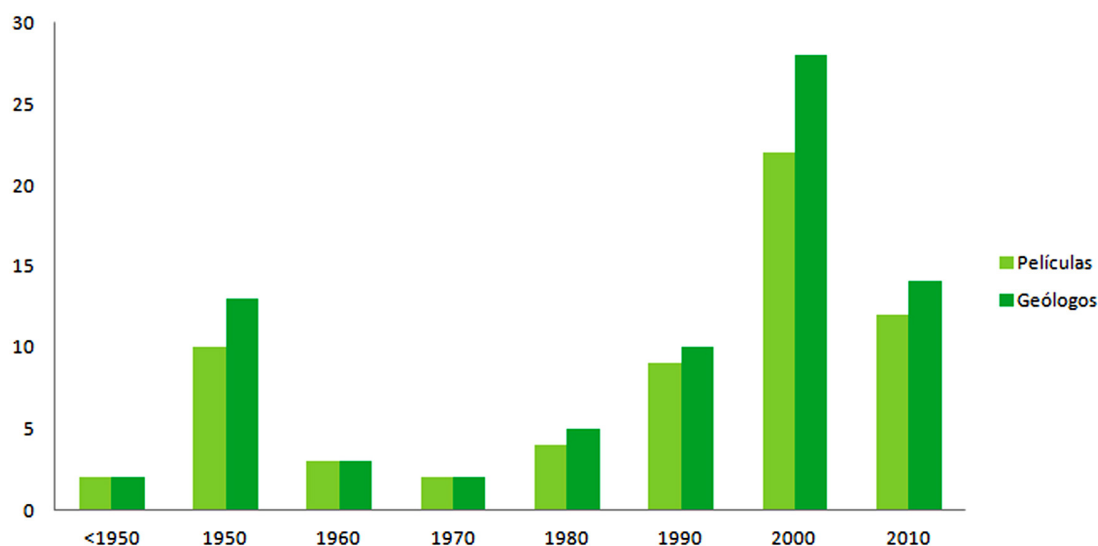


Figura 8.6- Número de películas de trasfondo geológico y de actores con papeles de geólogo que se han estrenado antes del 2015, repartidos por décadas. Se contabilizan todos los actores “geólogos” que aparecen en cada película por lo que su número puede exceder al de las películas estrenadas (Tomado de Rodríguez-Pérez *et al.*, 2014a).

Es interesante advertir cómo en todas estas películas la humanidad depende del sabio geólogo protagonista, que logra salvar al mundo y conquistar a la mujer de su vida con su atractivo intelectual y físico de activo aventurero. Claro está, que este no es el día a día de la mayoría de los geólogos del mundo, y que en general los estereotipos mostrados por las películas son muy extremos, ya sea por que el geólogo es un sabio, cerca de la locura, que no tiene más vida que sus investigaciones, o en el extremo opuesto, un hombre a la imagen de James Bond viviendo aventuras y conquistando mujeres. Por lo tanto, se puede concluir que la imagen que muestra el cine de los profesionales de la Geología está muy sesgada, tanto en los aspectos más personales como en las especialidades de la Geología más representadas, y esto puede dar una imagen de personas poco trabajadoras que se pasan el día en el campo, recogiendo rocas o de locos sin ningún otro interés que la Geología. Esta imagen puede hacer poco apetecible la carrera de Geología para la mayoría de los estudiantes. Sin embargo, la propia existencia de este interés por hacer películas de trasfondo geológico puede ser aprovechada para generar cierta motivación por conocer lo que hacen realmente estos profesionales, lo que nos tiene que animar a buscar formas de divulgar mejor nuestra labor científica.

El texto y las películas analizadas en este trabajo pueden servir de base para actividades didácticas, como las que otros investigadores ya han propuesto (Brusi *et al.*, 2011; Carceller Garrido, 2012; Romero-Nieto *et al.*, 2014a, entre otros) y que tengan

como objetivo generar una cierta capacidad de análisis y de crítica en los estudiantes de Educación Obligatoria, que les motive a buscar la realidad sobre la profesión científica y los científicos que la ejercen.

Una vez que hemos visto cómo refleja el cine nuestra imagen hacia la sociedad, hemos querido saber también, cómo refleja la propia temática científica y por lo tanto valorar lo veraces que son las películas en cuanto a su contenido científico. El objetivo era comprobar si pueden o no cumplir una misión educativa complementaria a las clases formales que reciben los estudiantes a lo largo de su formación obligatoria. En los trabajos de Romero-Nieto *et al.* (2013 y 2014a) se expone, por primera vez, un método cuantitativo de valoración de la calidad científica de películas de trasfondo paleontológico, aunque de forma similar se podrían adaptar al resto de las especialidades de la Geología e incluso a otras ciencias. En estos trabajos nos hemos preguntado ¿hasta qué punto el cine puede servir como método complementario de enseñanza, científicamente fiable, de los contenidos paleontológicos? y ¿sería posible utilizar un conjunto de películas para enseñar la historia de la vida según las grandes Eras geológicas?

La metodología que proponemos se basa en el análisis de diferentes aspectos científicos de películas de trasfondo paleontológico. De las 38 películas inicialmente escogidas hemos seleccionado 25, representativas de las tres Eras del Fanerozoico (Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico). En cada Era se ha mantenido al menos una película de animación, una película clásica y una película moderna (el límite entre cine clásico y moderno se ha establecido en 1970, según criterio de Mérida de San Román, 2003; Zavala, 2005; Romero-Nieto *et al.*, 2014a). Posteriormente se han evaluado 9 aspectos paleontológicos de cada película (por ejemplo, el aspecto 1 hace referencia a la existencia del ejemplar representado en el registro fósil; el aspecto 2 a la correcta representación de su anatomía, o el aspecto 9 que hace referencia a la actualización de las teorías o hipótesis científicas explicadas en la película; ver Romero-Nieto *et al.*, 2014a para mayor detalle). Cada aspecto se ha puntuado con un 0 cuando el aspecto no se cumple en ningún caso, con un 1 cuando se cumple en algunos casos y con un 2, cuando se cumple siempre. En algunas películas no se pueden evaluar todos los aspectos y por lo tanto, se ha tenido en cuenta esta representatividad de los diferentes aspectos a la hora de recalcular las medias de cada aspecto. La suma total de los aspectos evaluados para cada película ha sido promediada según la máxima puntuación que podría llegar a tener en cada uno de los apartados evaluados y multiplicado por 10 (Romero-Nieto *et al.*, 2014a). Por ejemplo, la película *Ponyo en el acantilado*, con sólo 6 aspectos evaluables, obtiene una puntuación final de 11 puntos sobre los 12 posibles (11/12). Por tanto, la evaluación final promediada de esta película sería de 9,2 ($0,92 \times 10$). Así, la evaluación media de las películas varía entre 0 y 10 puntos, considerando como científicamente fiables aquellas con un valor igual o superior a 7,5 (Romero-Nieto *et al.*, 2013).

Los resultados de este análisis indican que solo 5 de las películas analizadas son científicamente fiables (puntuación igual o superior a 7,5). La representatividad de las diferentes Eras es desigual, ya que solo hay 5 películas que aluden al Paleozoico, mientras que hay 18 y 15 que hacen referencia al Mesozoico y Cenozoico, respectivamente. Esta desigualdad en el interés de los cineastas por hacer películas de determinadas Eras o Periodos tiene una relación directa con los propios intereses y conocimiento del público, que de forma muy generalizada se interesan por los

dinosaurios o por los homínidos, pero que en pocos casos conocen invertebrados del pasado o mamíferos diferentes a los que aún hoy existen (Anguita, 1993; Clauss, 1993; Sanz, 2009; García-Raffi y Hernández Dobon, 2012, entre otros). El principal error que se ha detectado en las películas seleccionadas tiene que ver con aspectos cronológicos de la historia de la vida en la Tierra, lo que podría explicar en parte los errores en la ordenación temporal de eventos geo-paleontológicos cometidos por los estudiantes españoles (Colomer *et al.*, 1993; Castilla y de la Iglesia, 2008). Por lo tanto, es importante tener en cuenta la influencia del cine en lo que a esta temática se refiere (Romero-Nieto *et al.*, 2014b). Un caso curioso en esta influencia, a veces, negativa del cine en la ciencia lo vemos en “Parque Jurásico” que, para mayor espectacularidad de la película, introduce erróneamente un Tiranosaurio del Cretácico. Esto no pasaría de una simple anécdota si esta temática se tratase en las clases formales y se diesen nociones de Paleontología para que los alumnos puedan ser críticos con lo que ven, pero la realidad, como ya se ha comentado, es que la Paleontología y la Geología están infra-representadas en la Educación Obligatoria y los alumnos acaban aprendiendo conceptos erróneos que son muy difíciles de eliminar posteriormente (Romero-Nieto *et al.*, 2014b).

Otros resultados obtenidos en estos trabajos muestran como la veracidad científica y la calidad cinematográfica no tienen porque estar reñidas, ya que películas como “En busca del fuego”, “Ponyo en el acantilado” y “Viaje a la prehistoria” aúnan buenas valoraciones cinematográficas al mismo tiempo que están bien valoradas según nuestro análisis de la fiabilidad científica. Por otra parte, la presencia de asesores científicos puede ser o no determinante en la calidad científica de las películas; así, mientras que sí lo es para la buena valoración de la película “En busca del fuego” (García-Raffi y Hernández Robón, 2012; Romero-Nieto *et al.*, 2014a), no lo es en la saga de “Parque Jurásico”, en la que, a pesar de haber contado con el asesoramiento de Jack Horner, el director se tomó la libertad de añadir especies de otras épocas o realizar cambios en el comportamiento de determinadas especies para dotarles de mayor espectacularidad cinematográfica. Una tercera posibilidad la obtenemos del análisis de “Ponyo en el acantilado”, cuyo director no contó con asesores, sino que la labor de investigación científica la realizó él mismo (Montero Plata, 2012), con un buen resultado según muestra nuestro análisis (Romero-Nieto *et al.*, 2014a).

Como conclusión se puede decir que el método de evaluación propuesto se ha revelado como una buena herramienta para analizar el rigor científico de una película, y de hecho esta misma metodología podría tener su aplicación didáctica si se realiza el visionado de algunas películas, con diferente grado de rigor científico, y se muestra a los alumnos una forma eficaz de hacer una crítica científica a estas películas, y por lo tanto, discernir entre las de mayor y menor calidad científica.

La Paleontología está mal representada en el cine y por lo tanto, resulta complicado hacer un recorrido por la historia de la vida a través de un conjunto de películas. Sin embargo, las actividades propuestas en el trabajo (Romero-Nieto *et al.*, 2014a) pueden servir no solo como un método ameno de motivar al alumnado, sino que les obligarán a ser críticos y a buscar información sobre aquello que aparece en el cine, sin darlo por veraz desde el principio. En este sentido creemos que el cine puede servir como un complemento formativo en las ciencias, siempre que haya un trabajo previo de selección por parte del profesor y se tengan muy claros los aspectos que el alumno debe saber interpretar de una forma crítica. Ejemplos para otras temáticas geológicas pueden ser

consultadas en Ambrós y Breu (2007), Alfaro *et al.* (2008) y Brusi *et al.* (2008). En todo caso, los conocimientos básicos necesarios en Paleontología, y en general en Geología, no se pueden adquirir solo con el visionado de películas sino que deberían tener una suficiente presencia en los temarios de la Educación Obligatoria.

8.4.2- *Divulgación a Público con Necesidades Educativas Especiales*

Muchos han sido los términos que a lo largo de la historia se han utilizado para definir a las personas que presentaban algún tipo de discapacidad psíquica o física (minusválido, incapacitado, impedido, deficiente, disminuido, anormal, etc.), la mayoría de ellos despectivos según la visión que tenemos hoy en día, y que hasta hace pocas décadas conllevaban una clara exclusión social. Actualmente se utiliza el término discapacidad, según la definición aprobada por la Organización Mundial de la Salud como “cualquier restricción o impedimento de la capacidad de realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para el ser humano. La discapacidad se caracteriza por excesos o insuficiencias en el desempeño de una actividad rutinaria normal, los cuales pueden ser temporales o permanentes, reversibles o surgir como consecuencia directa de la deficiencia o como una respuesta del propio individuo, sobre todo la psicológica, a deficiencias físicas, sensoriales o de otro tipo” (OMS, 1980). Otro término que, aún sin ser sinónimo de discapacidad, define mejor la realidad que vivimos actualmente, es el de “diversidad funcional”, que hace referencia a que “cada miembro de una sociedad tiene unas determinadas habilidades, sean de carácter transitorio o permanente, lo que crea una diversidad que no debe generar exclusiones o discriminaciones. El punto de referencia del que se parte es el propio individuo con todas sus habilidades independientemente de lo que la sociedad establece estadísticamente como “normal” (García-Frank y Gómez-Heras, 2015). Desde la perspectiva pedagógica utilizaremos el término diversidad para referirnos a los diferentes contextos educativos que intervienen en el aprendizaje, las diferentes motivaciones personales, los ritmos de aprendizaje y las distintas capacidades físicas y psíquicas (García-Fernández, 2004).

De forma general, en comparación con periodos históricos previos al siglo XX, e incluso con la situación en la España pre-constitucional, cada día hay mayores posibilidades, tanto en educación formal como en ocio diverso, para todas las personas, independientemente de sus capacidades. Sin embargo, aún sigue habiendo un punto negro en esta mejoría, y es la posibilidad de acceso a educación y ocio de contenido científico para personas con alguna discapacidad (Gomez-Heras *et al.*, 2014). Afortunadamente esta tendencia está cambiando durante los últimos años, en los que están surgiendo diversas iniciativas por parte de profesionales de diferentes campos de la ciencia. La Geología no es en este sentido una excepción, y en los últimos años se están realizando propuestas divulgativas que acerquen a TODOS los públicos esta ciencia, tanto desde centros públicos de docencia e investigación (Belinchón, 2005; Castilla *et al.*, 2006, 2009; Lázaro-Calatayud *et al.*, 2008; López-Acevedo Cornejo *et al.*, 2011; Gomez-Heras *et al.*, 2014; García-Frank *et al.*, 2014b; Martínez-Frías, 2014) como privados, principalmente representados por pequeñas empresas de divulgación de la Geología y la Paleontología (por ejemplo Geosfera o EDNYA). De forma general se puede decir que el carácter multisensorial de la Geología genera la ventaja de poder adaptar sus conceptos a personas con necesidades educativas especiales tanto en el campo de la educación como de la divulgación (Vasconcelos *et al.*, 2012). Entre las diversas iniciativas que han surgido en España nos detendremos en tres con sede en

Madrid, por ser pioneras en algunos de sus aspectos y por ser aquellas en las que se han incluido las propuestas que se expondrán en este apartado y han sido realizadas durante la etapa de Tesis Doctoral.

En orden cronológico de establecimiento, el primero de ellos fue el Proyecto Somosaguas de Paleontología, que desde el año 2000 interviene en Ferias y Semanas de la Ciencia y realiza actividades de jornadas de puertas abiertas relacionadas con la Paleontología y en especial con el yacimiento paleontológico de Somosaguas (López-Martínez *et al.*, 2005). Este Proyecto fue uno de los primeros en España en acercar la Paleontología y otras ramas de la Geología a personas con alguna discapacidad, en parte por las condiciones de ubicación y acceso al yacimiento, que según Castilla *et al.* (2006) es el perfecto ejemplo de un “yacimento urbano”, con autobuses y Metro, con edificios cercanos equipados con cafetería, aseos, aparcamiento, y en muchos casos adaptados para personas con movilidad reducida (rampas, ascensores, pasamanos, etc.). Las labores realizadas desde este proyecto, de gestión estudiantil, en el campo del ocio y la educación no formal, para personas con necesidades educativas especiales (Centro de Rehabilitación Psicosocial Vázquez de Mella, Centro de Terapia Ocupacional San Pedro Apóstol, Fundación Esclerosis Múltiple, ONCE, ATAM, etc.) llevaron en 2004 a acuñar el término de “Paleontología Social” (Torices *et al.*, 2004). Con este término se designa la labor de divulgación de la Paleontología, y por extensión de otras ramas relacionadas de la Geología, llevada a cabo como una respuesta a la diversidad de las personas, y para acercar estas ciencias a colectivos con necesidades educativas especiales. Desde entonces, y hasta la actualidad, han sido múltiples las actividades divulgativas que se han realizado en relación con la Geología y la Paleontología que hay en el área de Somosaguas, y que están detalladas en Castilla *et al.* (2006; 2009), Cuevas-González *et al.* (2008), Benítez-López *et al.* (2009) y Fesharaki *et al.* (2012). El trabajo de De la Ossa *et al.* (2012) realizado como parte de este Proyecto será tratado en profundidad más adelante.

En 2013 un Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente (PIMCD) concedido por la UCM aglutinó a profesores, personal de administración, técnicos, investigadores pre y post-doctorales y alumnos de Grado en Geología alrededor de una idea “Geología para todos”. Desde algunos años antes ya se habían realizado actividades por parte de sus integrantes. El Proyecto Geodivulgar: Geología y Sociedad, ha obtenido posteriormente, en 2014 y 2015, otros dos PIMCD para continuar con su labor, quedando siempre entre las propuestas mejor valoradas por la comisión evaluadora de las propuestas competidoras. Las actividades de este equipo han quedado en parte plasmadas en las publicaciones de García-Frank *et al.* (2013, 2014b), Gomez-Heras *et al.* (2014), García-Frank y Gomez-Heras (2015), Hontecillas *et al.* (2015), Iglesias *et al.* (2015) y Muñoz-García *et al.* (2015). Lo novedoso de algunas de estas actividades, su perfil claramente social e integrador y los colectivos a los que iban dirigidos, les hicieron merecedores del reconocimiento con dos primeros premios en 2014 en el certamen internacional “Ciencia en Acción”. Además, ante la necesidad de poder llevar las acciones del Equipo a lugares más distantes se prepararon materiales didácticos multisensoriales que podían ser transportados en maletines preparados para dicha función (García-Frank *et al.*, 2014a). El trabajo de Fesharaki *et al.* (*enviado*) realizado como integrante de este proyecto será tratado en detalle más adelante.

Finalmente, y como consecuencia de un creciente interés de los miembros de Geodivulgar por las actividades adaptadas a la diversidad funcional, se estableció en

2014 la asociación sin ánimo de lucro Ciencia sin Barreras. Al principio formada por algunos de los integrantes de Geodivulgar, a día de hoy, en unos 8 meses, cuenta con 40 socios (com. pers. Miguel Gómez Heras, Presidente de la Asociación, septiembre de 2015) que proponen y realizan actividades en torno a los diferentes campos de la Geología, la Biología o la Física, y sigue abriéndose a nuevos socios de múltiples campos de la Ciencia. Una de sus más recientes actividades ha pretendido ir más allá de los talleres y las visitas a museos o laboratorios, proponiendo una salida de campo de 3 días al Geoparque de la Costa Vasca (Zumaia) con personas con sordoceguera. El potencial didáctico de un enclave geológico como las playas de Zumaia está claro, pero la dificultad radicaba en que esas maravillosas vistas pudieran ser entendidas por personas ajenas a la Geología y con diferentes grados de sordoceguera. La experiencia ha sido mostrada en un vídeo del programa televisivo “En lengua de signos” de la 2ª cadena de TVE, y en una publicación (Gomez-Heras *et al.*, en revisión).

Uno de los trabajos ideados y dirigidos como parte de esta Tesis quedó reflejado en la publicación de De la Ossa *et al.* (2012), y que también fue merecedor de un primer premio en el Certamen internacional “Ciencia en Acción” en su edición de 2014. Este trabajo recoge una experiencia que se empezó a idear desde 2006 en base a las buenas experiencias vividas durante varias Semanas de la Ciencia de Madrid con un grupo de alumnos con diversidad funcional del Centro de Terapia Ocupacional San Pedro Apóstol de Barajas. Este grupo había participado en actividades con réplicas de fósiles sobre la fauna miocena del área de Somosaguas, excavación simulada en cajones (Figura 8.7a,b), evolución de los animales por una actividad relacionada con la figura de Charles Darwin, y la biodiversidad y la importancia del patrimonio paleontológico y geológico. Por lo tanto, era un grupo ideal para poder ampliar y profundizar en estos campos de una forma más continuada en el tiempo y no reducida solo a una visita de puertas abiertas en el yacimiento de Somosaguas. La idea surgió cuando miembros del Equipo realizamos una visita a su centro en Barajas en las Navidades de 2005/2006 y vimos cómo habían realizado con gran detalle figuras del Belén y su entorno, por lo que nos propusimos que esa actividad la repitiesen pero en esta ocasión reconstruyendo el paleoambiente (paisaje) de Somosaguas durante el Mioceno medio (ver referencia en página 269 de Castilla *et al.*, 2006).

La preparación didáctica empezó antes de las visitas al propio centro ya que las alumnas del EIIGPBS encargadas del seguimiento aún no eran graduadas y necesitaban una formación previa. Una de las alumnas, del Grado en Geología, debía conocer perfectamente las características del clima, del ambiente, de la fauna y flora del área de Somosaguas durante el Aragoniense medio; mientras que la otra alumna, del Grado en Trabajo Social, tenía que buscar información sobre los problemas cognitivos y ante la enseñanza de conceptos, en algunos casos algo abstractos, que debían transmitir a los alumnos, cómo debían proceder para el planteamiento, la adaptación didáctica y la evaluación de la actividad. Ambas alumnas y el coordinador de la actividad (el autor de esta Tesis Doctoral) mantuvimos varias reuniones para poner en común los datos de los que disponían cada una y plantear posibilidades didácticas, distribución temporal de las actividades, etc. Una vez que se establecieron las líneas de trabajo, en septiembre de 2011, estas dos alumnas realizaron, durante unos 6 meses, el seguimiento semanal de la actividad propuesta a los alumnos de este centro. La actividad consistía en realizar un diorama que recogiese el paisaje del área de Somosaguas hace 14 millones de años (durante el Aragoniense medio, Mioceno medio). Para ello contábamos con los bocetos del mural que se preparaba para uno de los muros laterales del yacimiento (Benítez-

López *et al.*, 2009) y con dibujos realizados para la divulgación del Proyecto por parte de dos jóvenes paleoilustradores Sergio Pérez González y Humberto Serrano, ya que, según experiencias previas, la memoria visual de los alumnos con Síndrome de Down es uno de sus puntos fuertes (Flórez y Ruiz, 2006). Tras la primera sesión explicativa y de presentaciones, las tres siguientes consistieron en realizar primero algunas de las figuras de la fauna y flora en plastilina (Figura 8.7c), con el objetivo de conocer el nivel de cada uno de los alumnos, ya que, aún realizando una labor de forma imperfecta o con ayuda podemos inferir cual es su capacidad para desarrollar esas aptitudes en el futuro (Ruiz, 2001). Una vez evaluados estos niveles se utilizó arcilla blanca de modelar y pinturas no tóxicas. De esta forma algunos alumnos intervinieron en la modelización con plastilina, otros en la definitiva modelización con arcillas y algunos en el proceso de pintar las figuras. Como base del diorama se compró una urna de metacrilato, que se rellenó con el propio sedimento del yacimiento, reproduciendo las tres capas (tramos) principales que afloran en él y que habían sido diferenciados por los alumnos en visitas previas al yacimiento. Se reprodujeron escenas de las actividades diarias de los animales (caza, beber agua, juegos con las crías, etc.) y se añadieron elementos de la geomorfología como un río pintado sobre una pieza de cristal o las montañas en papel preparado para montañas del Belén (Figura 8.7f).

Cada dos semanas nos reuníamos los monitores de la actividad para valorar el éxito de las adaptaciones didácticas y en su caso la necesidad de modificar el tipo de actuación. Uno de los cambios que tuvimos que realizar durante el trabajo fue en relación con la escala a la que se hacían las figuras, ya que la idea original era que todas las figuras guardasen al 100% la relación de proporcionalidad de unos animales con respecto a otros. Sin embargo, una vez que dio comienzo el trabajo observamos que unir en una urna de 100x60x30 cm animales como el *Gomphotherium* y los cricétidos era muy problemático, ya que o el proboscídeo no cabía, si se hacían las figuras en tamaño grande, o los cricétidos eran tan pequeños que no eran fácilmente manejables por los alumnos. Finalmente, se optó por tener a una escala proporcional los microvertebrados entre sí y a otra también proporcional entre sí a los macrovertebrados, aunque estos últimos a una escala menor de la que les habría correspondido en una proporcionalidad directa. En todo caso, las diferencias de tamaños fueron suficientemente claras como para reflejar las diferencias reales de tamaños que los alumnos tenían en mente.

Otro problema fue el ritmo de trabajo que, en ocasiones se ralentizaba por la limitada destreza en movilidad fina de los alumnos y por la dificultad de centrar la atención durante toda la hora de trabajo (Hernández Martínez *et al.*, 2011). Por ello, a partir de la cuarta sesión, se realizaban repeticiones de los conceptos (el tamaño, la forma y el color de los animales o el lugar del ambiente que ocuparían) y las sesiones se realizaban con una duración más corta. Finalmente se optó, como ya se ha comentado, por asignar el trabajo más complicado a los que tuviesen mayor facilidad para realizarlo y hacer otras actividades con el resto de alumnos en el momento en que se cansasen o perdiesen la atención en cada sesión.

La fauna y flora seleccionada eran representativas del periodo geológico representado por el yacimiento de Somosaguas (Álvarez Ramis y Fernández Marrón, 1996; Hernández Fernández *et al.*, 2006) y además eran similares a fauna y flora actual para que fuese más cercano a los conocimientos de los alumnos. En este sentido hemos adaptado el lenguaje tanto simbólico como verbal a la diversidad de alumnos a los que iba dirigida. También se ha tenido en cuenta a la hora de la selección de las figuras, el

espacio disponible en la urna y los diferentes nichos ecológicos (más abierto o más boscoso) que ocupaban estas especies, para tener una representación variada de todos los ambientes y todos los tipos principales de alimentación (herbívoros, carnívoros y omnívoros). Uno de los principales problemas de los alumnos era su desorientación espacial y temporal (Flórez y Ruiz, 2006) por lo que por múltiples repeticiones se intentó introducir la idea temporal (mucho tiempo antes del hombre) con silogismos como el tatarabuelo del elefante o un antepasado muy lejano del hámster.



Figura 8.7- Actividades con los alumnos del Centro Integrado San Pedro Apóstol de Barajas: a-b) actividades (microvertebrados a la lupa y cajón de excavación) durante semanas de la Ciencia de Madrid realizadas en instalaciones de la UCM; c) trabajos iniciales con plastilina para la modelización de fauna de Somosaguas; d) alumnos ayudando en la preparación de la urna en la exposición de la Villa de Barajas; e) seminario teórico sobre la fauna y flora del Mioceno de Somosaguas; f) urna expuesta durante el Workshop homenaje a Nieves López-Martínez (Imágenes tomadas de Castilla *et al.*, 2006 y De la Ossa *et al.*, 2012).

Una vez terminado el diorama se impartió un seminario final, explicando detalladamente la fauna y flora, sus hábitos alimenticios y modos de vida, así como el paisaje de Somosaguas en el Mioceno medio. Esta explicación teórica se realizó al final del proyecto, como refuerzo de las clases semanales y porque es mucho más fácil que

los alumnos puedan interiorizar esta información mientras colocan ellos mismos las figuras realizadas en la maqueta (Figura 8.7d-e).

Implicar a personas con diversidad funcional en proyectos científicos despierta su curiosidad por aprender e incentiva lo que Fernández-Pérez (2004) define como las tres dimensiones de la interacción. En este trabajo la dimensión intelectual, incluía todo lo relacionado con el aprendizaje de conceptos geológicos y paleontológicos; la dimensión sensorial, relacionada con los sentidos como vía de interacción con el medio, se consiguió mediante la manipulación de los materiales utilizados; y la dimensión afectiva que comprende la comunicación, proximidad y adaptación, se consiguió a través de la interacción entre alumnos y monitores-educadores, entre los diferentes alumnos durante el trabajo grupal, y entre monitores y educadores a la hora de adaptar los conceptos que se iban a explicar a los alumnos. Está claro que la interacción surgida a lo largo del proyecto entre todos los participantes ha favorecido emocional, cognitiva, conductual y socialmente (momentos de ocio compartiendo la experiencia con otras personas) a los alumnos (Madariaga Ortúzar, 2010), y en cierta medida en el ámbito formativo, por haber estado en contacto con la Geología, una ciencia poco común en sus vidas. El hecho de que algunas actividades previas se realizasen en la universidad y dos universitarias estuviesen visitando el centro semanalmente contribuyó a la sensación de inclusión “social” de todos los involucrados en el proyecto. En cuanto a las propias alumnas del EIIGPBS supuso aprender a buscar y seleccionar información para poder plantear un proyecto, además de aprender a trabajar en grupo aportando cada una los conocimientos de su campo (la Geología y el Trabajo Social) y finalmente, les ha servido para aprender a realizar un trabajo escrito para una revista, divulgando su experiencia. La urna y las figuras fueron posteriormente expuestas en las instalaciones del Centro Social Villa de Barajas y en el workshop homenaje a Nieves López-Martínez, celebrado en la Cristalera de Miraflores de la Sierra entre el 2 y el 4 de marzo de 2012 (Figura 8.7f). Estas exposiciones completaban las acciones de divulgación en torno a esta idea, ya que servían para divulgar la Geología y la Paleontología hacia el público general (en la exposición de Barajas), mientras que al público entendido en la temática (asistentes al workshop) le hacían reflexionar sobre la importancia de la divulgación y del trabajo interdisciplinar dirigido a personas con diversidad funcional.

Tras la actividad descrita se pretendió avanzar algo más con este grupo de alumnos y se realizó un taller que requería cierta dosis de deducción, lo cual nos llevó a realizar el trabajo descrito en Iglesias *et al.* (2015), y que ha quedado finalista en el Certamen Internacional “Ciencia en Acción” en su edición de 2015.

El otro trabajo ideado y dirigido como parte de esta Tesis quedará reflejado en la publicación de Fesharaki *et al.* (*enviado*). Mientras que el trabajo anterior estaba destinado a alumnos con discapacidad intelectual (De la Ossa *et al.*, 2012), en este trabajo, la actividad estaba pensada de forma que fuese para público general, ya que se realizaba durante una de las jornadas de puertas abiertas del yacimiento de Somosaguas, coordinada en esta ocasión por especialistas en divulgación de la empresa Geosfera. Pero a esta actividad asistieron dos personas con sordoceguera, por lo que fue necesario realizar determinadas adaptaciones relacionadas con el vocabulario empleado, la duración de cada parada y el tipo de material de apoyo didáctico. Sin embargo, los dos asistentes habían intervenido en actividades previas de temática paleontológica (Gomez-Heras *et al.*, 2014), por lo que sabían en qué consiste la labor de estos profesionales y algunas generalidades sobre la Geología, y dicha introducción no fue necesaria. Durante

la jornada de puertas abiertas, celebrada la tarde del 22 de Mayo de 2015, se habían organizado 5 paradas temáticas en el recinto del yacimiento de Somosaguas, con dos monitores por parada, miembros de Geosfera o del EIIGPBS.

Por sus especiales características, la sordoceguera, está reconocida como una discapacidad única, no como la unión de la discapacidad auditiva y la visual (Ley 27/2007). Al ser varios sentidos los afectados, y en función de las diferentes circunstancias y momentos en los que se hayan perdido dichos sentidos y en qué grado estén afectados, además de otras variables, se pueden tener diferentes variantes de la sordoceguera, por lo que se requieren diferentes métodos de comunicación (Álvarez Reyes, 2004). Los visitantes que realizaron la actividad fueron José Luis y Javier, ambos mayores de edad. Los dos conservan un pequeño resto visual, pero, mientras que el primero usa la lengua de signos apoyada, el segundo se comunica mediante el sistema dactilológico en palma. También son muy diferentes sus capacidades cognitivas, dado que Javier es estudiante universitario y con unos conocimientos sociales más amplios que José Luis. Los dos asistentes estaban acompañados por dos guías intérprete que les traducían simultáneamente las explicaciones de los monitores.

En la primera parada se realizó una introducción a la geología regional de Madrid, y concretamente del yacimiento, explicando cómo se descubrió, cómo y cuándo se formó y qué tipo de ambiente se ha deducido a partir de los restos fósiles encontrados (López-Martínez *et al.*, 2000). En esta parada estos dos asistentes compartían espacio con el resto de asistentes y tuvieron la oportunidad de preguntar cuestiones y “escuchar” preguntas de otros visitantes (traducidas simultáneamente por las intérpretes). Mientras que para la mayoría de los asistentes, incluso para los de menor edad, se utilizaba apoyo gráfico, con imágenes de la cuenca sedimentaria de Madrid, sus áreas fuente, la posición de Somosaguas, etc., a estos dos visitantes se les tuvo que resumir la intervención por no disponer de este material y por la dificultad de comunicarse en lengua de signos a la misma velocidad que en lengua hablada, así como por el problema que supone la traducción de algunas palabras técnicas a la lengua de signos en la que no tienen equivalentes. La adaptación que se llevó a cabo se basó en ayudarles a diferenciar mediante el tacto los diferentes materiales geológicos presentes en el yacimiento (arenas muy gruesas, arenas finas y arcillas; Figura 8.8a). Así pudieron diferenciar entre un tacto más áspero en las arenas gruesas, menos áspero en la finas y untuoso en las arcillas. Se les comentó que solo las arenas gruesas y las arenas arcillosas contenían fósiles en este yacimiento y que las arcillas y arenas finas no contenían fósiles, a pesar de su asignación a ambientes palustres y lacustres, y que los investigadores aún seguíamos buscando una justificación a esta circunstancia. A Javier le pareció muy curioso el hecho de que aún, tras casi 15 años de excavaciones, no supiésemos con certeza la respuesta a esa cuestión y nos sirvió para poder comentar que la ciencia no es estática y que las teorías evolucionan y se suceden en el tiempo, pudiéndose mejorar o refutar las anteriormente establecidas.

En la segunda parada se les explicó qué es una excavación paleontológica y cómo es el trabajo de extracción de fósiles de macrovertebrados. Se les explicó el porqué del tamaño de las cuadrículas, lo que se consideraba una esquirla (pudieron reconocer al tacto algunas) y lo que se consideraba un resto identificable (hueso o diente). Aquí pudimos conversar sobre la forma en la que se había formado el yacimiento, recordándoles que los fósiles habían sido englobados en avalanchas de sedimentos y habían sido transportados hasta Somosaguas, y por eso muchos aparecían fracturados y

las esquilas eran los restos más abundantes del yacimiento. Uno de los objetivos principales de esta parada fue que interaccionasen con otras personas además de los monitores y los guías-intérprete. Para ello cada uno se sentó en una cuadrícula de excavación, teniendo en la cuadrícula de al lado un alumno del Grado en Geología, que pertenecían al grupo de alumnos excavadores de la campaña de este año. Estos dos alumnos les proporcionaron los materiales que tenían que usar (destornillador y brochas), y les ayudaron a diferenciar por el tacto los salientes sin excavar sobre el suelo y la posición de los fósiles a medio extraer (Figura 8.8b). Durante casi 15 minutos excavaron con un interés y una exactitud inesperada por los organizadores, y en la valoración final comentaron que les había parecido muy poco tiempo y les habría gustado que esa actividad hubiese durado más. También durante esta parada aprovechamos para comentar la importancia de tomar el máximo número de datos sobre cada fósil antes de extraerlo por completo, ya que gran parte de la información que proporciona un resto es inherente a su posición. Así les explicamos el sistema de coordenadas (X, Y y Z) que se utilizaba y cómo esas representaciones nos habían proporcionado datos sobre niveles intercalados más enriquecidos y otros más empobrecidos en restos fósiles. En esta parada, estos dos visitantes se separaron del resto ya que preferíamos que comprendiesen los métodos de excavación de macrovertebrados, antes de ver los restos que se habían extraído (parada 3), mientras que el resto del público realizaba la parada de la excavación en la parte alta del yacimiento, en la zona dedicada a excavación infantil (Castilla *et al.*, 2006, 2009), al final de todo el recorrido por causas organizativas de las rotaciones preparadas por Geosfera.

La tercera parada estaba dedicada a la macrofauna fósil del yacimiento. En este caso, el resto de visitantes tenían el apoyo visual de 5 pósters divulgativos y algunas impresiones en hojas plastificadas de la fauna de Somosaguas, además de las réplicas de algunos de los fósiles más característicos del yacimiento. A estos visitantes primero se les explicaba el ambiente general y posteriormente se iba describiendo cada animal y el nicho que habría ocupado. Pero estos dos visitantes no podían tener acceso al material gráfico y por lo tanto, primero por medio de material táctil (réplicas de fósiles de dientes, mandíbulas y huesos de extremidades de diferentes animales) se les explicaron las características de varios animales importantes del yacimiento, eligiendo cuidadosamente los más representativos (Figura 8.8c) en cuanto a diferentes hábitos alimenticios, diferentes nichos ecológicos y alguno de los más curiosos (ver características de la fauna en el capítulo 3 y las citas allí indicadas). Así se seleccionaron *Gomphotherium* (un proboscídeo del que se tienen un molar, un fragmento de defensa y un diente de individuo infantil), *Anchitherium* (el équido del que tenemos la mitad de una hemimandíbula, varios molares sueltos y varios huesos de extremidades), *Prosantorhinus* (del rinoceronte se tienen una hemimandíbula completa y varios molares sueltos), *Amphicion* (el carnívoro extinto del que se tienen réplicas de varios molares) y *Conohyus* (el súido del que se tienen varios molares tanto de adultos como de individuos infantiles). Así se explicó la diferencia en la alimentación basándonos en el tipo de dentición (herbívoros con dientes planos y dibujos como semilunas o más complejos; carnívoros con dientes alineados y muy afilados, y omnívoros con varias cúspides redondeadas y valles entre ellas, muy similares a los de los humanos). Estas características son relativamente fáciles de sentir con el tacto y permiten una actividad muy dinámica de preguntas dirigidas para los visitantes. De forma rápida y sin tecnicismos se nombraron otras especies de la zona como los félidos, cérvidos, bóvidos, aves, serpientes, tortugas y los siempre interesantes mosquitos

(*Micromeryx*), con los colmillos presentes en los machos, por los que se interesaron los visitantes. Utilizando una colección de réplicas de extremidades de équidos con diferentes estadios evolutivos se explicaron características como la longitud de las extremidades y el número de dedos que presentan y los que apoyan, para deducir el tamaño, la velocidad que tendrían, el tipo de ambiente (más abierto o más boscoso) que ocuparían. Una vez que ya tenían unas nociones claras de los diferentes animales les hicimos ver la existencia de unas especies indicadoras de ambientes más cerrados y con algo de humedad, y otras de ambientes claramente secos y poco vegetados. Javi infirió que eso sería por la existencia de unas zonas más húmedas en la montaña y otras más secas en el valle (refiriéndose al Sistema Central y la Cuenca de Madrid) y que al morir los animales, todos los huesos fueron englobados por las mismas avalanchas pues las encontramos todas juntas. Fue una respuesta inesperada para una persona ajena a la Geología, pero luego les explicamos que no necesariamente tendrían que haber sido zonas tan alejadas y que pueden, como ocurre hoy en día en algunas zonas de las sabanas, coexistir zonas cercanas de praderas con otras más boscosas asociadas a lagos o ríos semipermanentes. Algunas de las preguntas y conversaciones que mantuvimos los monitores con Javi no se explicaron a José Luis por la diferencia de conocimientos antes mencionada.

La temática de la parada 4 giraba en torno a los fósiles de micromamíferos del yacimiento y sus técnicas de extracción y estudio. *A priori*, podría pensarse que son actividades especialmente complicadas para ser adaptadas, pero la realidad es que se explicaron todos los aspectos que se tenían previstos para el resto de visitantes y tan solo se tuvo que dejar sin realizar la actividad de mirar por la lupa binocular. Los visitantes realizaron los pasos de la metodología para la obtención de restos de microvertebrados. Así, se les explicó que de varios niveles, como los que habían tenido ocasión de tocar en la primera parada, se extraían varios kilogramos de sedimentos y que se dejaban al sol para secarlos y quitarles así el agua de los poros. Luego se volvían a mojar en barreños para convertirlos en barro y que con este proceso se conseguía que las arcillas soltasen los fósiles (desfloculación y dispersión). Metieron las manos en los barreños para sentir el sedimento seco y el convertido en barro (Figura 8.8d). Posteriormente, diferenciaron al tacto los diferentes tamaños de malla de los tamices que se usan durante el proceso de lavado-tamizado. Entendieron porqué se van separando diferentes fracciones (2 mm, 0,7 mm y 0,5 mm) y pusieron las manos bajo las muestras y el agua a presión para sentir cómo es el proceso del lavado (Figura 8.8e) que separa en el último tamiz los huesos y algunos minerales de mayor tamaño (cuarzos y feldespatos principalmente).

Posteriormente, pasaron a la mesa donde se tenían muestras de sedimentos con huesos ya secos, y se les contó que esas eran las muestras de las que los excavadores sacarían los fósiles mirando por la lupa (triado de microfósiles). Para ellos teníamos preparados restos de microvertebrados de otro yacimiento (Layna, Figura 8.8g) que tienen un tamaño mayor y que por lo tanto, pueden ser diferenciados al tacto. Una vez que se habían explicado las técnicas de extracción y procesado de los microfósiles, se les nombraron algunas de las especies que habían aparecido en el yacimiento como ardillas, pikas, erizos, musarañas o lirones y lo que ambientalmente indicaban estas asociaciones de especies, llegando a la misma conclusión de un paisaje mixto, como en la parada anterior (Figura 8.8f). Finalmente, ante una pregunta de Javi, le explicamos que los micromamíferos son mejores indicadores ambientales y para la datación que los macrovertebrados debido a la rapidez con la que se adaptan a los cambios cambiando

morfológicamente, y que en parte era debido a su rápido metabolismo, el número de crías, etc. (las estrategias ecológicas).

La última parada tuvo una duración más corta ya que estaba principalmente diseñada para el público infantil y juvenil, con juegos de fuerza (la cuerda) para razonar sobre el aumento de la resistencia y la fuerza de los individuos adultos respecto a los infantiles. Posteriormente, se introducía el tema de la gran mortandad juvenil registrada tanto en la macro como en la microfauna de Somosaguas, y su relación con un clima seco y duro con pocos meses lluviosos, que serían letales para muchas de las crías. Esta última parte teórica fue la que se desarrolló con los dos asistentes con sordoceguera, explicando que el desgaste dental indica la edad del individuo y que muchos de los restos encontrados en Somosaguas tenían poco desgaste. Se volvieron a usar dos réplicas de molares de équidos con diferente desgaste en la cara oclusal.

Como recordatorio final de las actividades, se les enseñaron mandíbulas de animales actuales donde diferenciaron de nuevo entre tipos de alimentación y cómo se pueden conocer datos ecológicos y ambientales a partir de sus restos. Además, al igual que al resto de asistentes se les entregó una réplica en escayola, en su caso de la pata de uno de los caballos que se han encontrado en el yacimiento, y se mantuvieron diversas conversaciones en torno a los aspectos que más les habían gustado de la actividad.

A lo largo de todas las paradas conocieron a un total de 10 monitores y 2 alumnos de las excavaciones, más las tres personas que les acompañamos desde el inicio en toda la actividad (las dos guías y el coordinador y autor de esta Tesis), lo que unido a la simultaneidad de las actividades con el resto de los visitantes y los excavadores, monitores de excavación y directores de ésta, les permitió conocer a muchas personas y esto resultó en una experiencia no solo de aprendizaje y de ocio, sino que también de intercambio e inclusión social. De nuevo vemos como las tres dimensiones definidas ya para el trabajo anterior se complementaban (Fernández-Pérez, 2004). Para que estas tres dimensiones del acto educativo se complementen es necesario la comunicación entre todos los que intervienen en la actividad desde la perspectiva de la diversidad, adaptando el lenguaje (sin tecnicismos ni excesivos nombres complejos de traducir a la lengua de signos), los materiales didácticos (en este caso principalmente táctiles) y actuando con grupos reducidos (para cada visitante con NEE había un intérprete y un monitor), que permitan a su vez una interacción más cercana (proximidad física) en base a técnicas de inteligencia emocional como comenta Goleman (1996).

En conclusión, estas dos actividades han demostrado que la Paleontología es accesible a públicos con discapacidad intelectual, visual, auditiva o sordoceguera, si se adaptan los métodos de enseñanza. Además, el trabajo en equipos multidisciplinares (geólogos de diversas ramas, trabajadores sociales, guías-intérprete, educadores, etc.) permite la adaptación del lenguaje, de los materiales y de las actividades para que sean plenamente accesibles para todo tipo de público y así podemos compartir la Geología y en general las ciencias con todos los ciudadanos, al mismo tiempo que nos enriquece a los propios organizadores de las actividades, ampliando nuestros conocimientos y las aptitudes para poder divulgar dichos conocimientos.



Figura 8.8- Actividades con personas con sordoceguera. a) Intérpretes explicando las diferencias entre arenas y arcillas del yacimiento; b) un excavador enseña a uno de los alumnos cómo se excava; c) réplica en escayola de un molar de *Gomphotherium*; d) diferenciando sedimento seco y mojado durante el pretratamiento de muestras de sedimentos con microvertebrados; e) reconocimiento de los tamaños de malla de los tamices; f) mesa con diversos materiales para el estudio de los restos de microvertebrados; g) fósiles de microvertebrados de Layna que por su tamaño son más aptos para el reconocimiento táctil que los restos encontrados en el yacimiento de Somosaguas (Imágenes tomadas de Fesharaki *et al.*, enviado).

La motivación que se genera en torno a este tipo de actividades requiere el refuerzo de las sensaciones positivas a través de la preparación de espacios de encuentro e intercambio de experiencias educativas, que a su vez requieren de una importante labor

de preparación de materiales y metodologías didácticas previas (Wagensberg, 2002; Toharia, 2004).

8.5- A Modo de Síntesis y Reflexiones Finales

Como se puede observar de todo lo expuesto en los apartados de este capítulo, los trabajos realizados han tenido varias vertientes de innovación educativa y de divulgación simultáneamente. Así, hay que destacar que en casi todos estos trabajos la labor realizada no solo ha consistido en tener la idea inicial y su desarrollo, sino que se ha pretendido que estos trabajos se lleven a cabo como parte de la formación de jóvenes investigadores que se realiza en el EIIGPBS, y por lo tanto, alumnos de este Equipo, han actuado como primeros firmantes, y sus aportaciones han sido corregidas y dirigidas como parte de la formación del propio doctorando (autor de este trabajo) en el periodo de Tesis Doctoral. De esta forma no solo hay que considerar la importancia relativa que tengan cada uno de los trabajos expuestos previamente, sino también hay que tener en cuenta que dichas publicaciones son el resultado de un doble aprendizaje, por un lado el de los alumnos que se inician en el mundo de la investigación, y por otra la del propio doctorando que aprende a proponer, organizar y corregir trabajos de investigación. Creemos que esta aportación en la formación de los doctorandos es en cierta medida novedosa y que les permite, aprender a enseñar las bases de la investigación antes de obtener el título de Doctor, y por lo tanto, enriquece sus conocimientos y capacidades una vez finalizado el periodo del doctorado. En general, como ya se ha comentado, todas las labores que se llevan a cabo desde el Proyecto Somosaguas de Paleontología suponen el traspaso de ciertas responsabilidades a los más jóvenes dentro del Proyecto (López-Martínez *et al.*, 2005), lo que a nuestro entender mejora considerablemente su capacidad de gestión de actividades relacionadas con estas ciencias una vez que terminan los estudios superiores. Esta es en sí una aportación educativa innovadora, de la que no tenemos, con este grado de organización, noticias en España (Benítez-López *et al.*, 2009).

Son muy variadas las acciones realizadas desde el EIIGPBS y el propio Proyecto Somosaguas de Paleontología, y en ellas queda demostrado el potencial científico y socioeducativo que puede tener un yacimiento paleontológico, si se realiza una buena gestión de sus recursos. Las distintivas características del proyecto: gestión multi-institucional llevada a cabo por alumnos licenciados o recién graduados, naturaleza multidisciplinar en la que intervienen alumnos y profesores de muy diversas áreas de la Geología y otras ciencias, su carácter accesible e inclusivo, el hecho de estar abierto a nuevas aportaciones, su marcado carácter social, y su importancia científica con más de 10 publicaciones internacionales lo convierten en una práctica pionera en España y poco aplicada en otros países de nuestro entorno cultural y científico. Son estas características y el factor humano (un buen grupo de trabajo y gestión) los que permiten la continuación en el tiempo de campañas de excavación, acciones de innovación educativa y labores de difusión y divulgación de los conocimientos científicos que se van generando en torno a este proyecto, en un momento en el que las carreras de ciencias, y en especial la Geología, están experimentando una disminución constante del ingreso de nuevos alumnos.

De forma general, según estudios previos y las encuestas realizadas a alumnos de ESO en el yacimiento, los estudiantes de Educación Secundaria conocen y valoran más la Biología que la Geología, y dentro de ésta se ven más atraídos por las ramas que

creen tener más salidas laborales. Estos dos aspectos son la base sobre la que se han realizado varias propuestas de líneas de trabajo. Entre ellas la propuesta de temas que integren el conocimiento en Ciencias Naturales y por lo tanto, que a través de un tema biológico bien conocido se puedan conocer y valorar campos de la Geología, ha dado lugar a varios trabajos publicados o en preparación (relación entre el origen de la vida y los minerales; los biominerales del cuerpo humano; la geobotánica; la paleoclimatología como ciencia interdisciplinar). Pero para cualquier labor de propuesta didáctica es necesario saber qué conocen, que valoran y qué hábitos, en este caso de ocio, tienen los alumnos. Es por esta razón por la que se han realizado encuestas para evaluar el nivel de conocimiento paleontológico de los alumnos y las fuentes de información de las que obtienen sus conocimientos. Los resultados indican que saben poco de Paleontología y que sus fuentes principales, colegio y cine, pueden ser complementarios en cuanto a motivación pero nunca el cine puede sustituir una buena enseñanza de este tema en los centros educativos. Finalmente, nos centramos en conocer el nivel de los propios alumnos del Grado en Geología de la UCM, sus dificultades y los campos en los que con mayor rapidez pierden los conocimientos “supuestamente” adquiridos en el Grado. Destacan las dificultades en cuanto al manejo de la brújula y la pérdida de importantes conocimientos en el campo de la cristalografía. Proponemos actividades que desde el propio ámbito formal puedan proporcionar momentos de ocio y aprendizaje al mismo tiempo (por ejemplo las *gymkhanas* geo-urbanas).

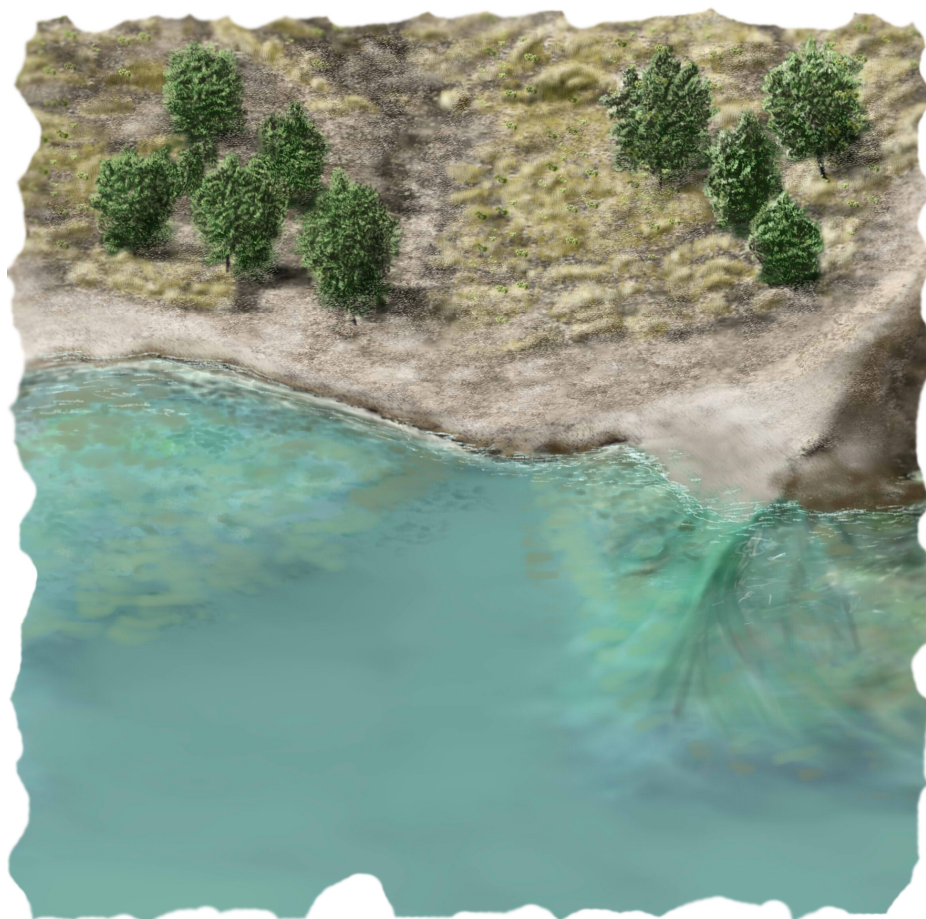
Hay que valorar muy positivamente la mejora de la oferta de actividades de divulgación en España pero, como ya hemos comentado, éstas aún son escasas, puntuales en el tiempo y localizadas espacialmente en torno a los grandes núcleos de población, y por lo tanto, queda camino por recorrer en este sentido, y en especial en lo que a la propia convicción de los geólogos hacia la divulgación se refiere. Este último aspecto podría mejorar enormemente, a nuestro entender, si la labor de divulgación realizada por los investigadores tuviese un reflejo directo en sus valoraciones por parte de las instituciones, al igual que ocurre con sus horas de docencia o su productividad científica. Valoramos las posibilidades del cine paleontológico como forma de llegar a cualquier rincón de España, pero la baja fiabilidad científica de la mayoría de las películas valoradas, y la imagen distorsionada que ofrecen de los geólogos, desaconsejan basarnos solo en esta fuente, aunque proponemos algunas actividades que generen un espíritu crítico en los estudiantes a la hora de ver este tipo de cine y que por lo tanto puede tener una utilidad didáctica.

Finalmente, una vertiente muy especial, y que tanto desde el Proyecto Somosaguas de Paleontología, como desde el Proyecto Geodivulgar y la Asociación Ciencia sin Barreras, se ha potenciado mucho, es la atención a la diversidad funcional, ya que la ciencia debe ser patrimonio de toda la sociedad sin exclusiones, y solo hace falta voluntad y ciertos conocimientos para poder adaptar los contenidos geológicos para personas con necesidades educativas especiales. En relación con este último punto se hacen dos propuestas dirigidas a personas con discapacidad intelectual y a personas con sordoceguera. En ambos trabajos los resultados son satisfactorios y se han descubierto ciertas dificultades que nos permiten mejorar las acciones futuras. Además, esta línea de trabajos ha tenido su reconocimiento nacional e internacional por parte de otros investigadores y en concursos de divulgación de la ciencia.

Capítulo 9

Síntesis General y Conclusiones

Lo que sabemos es una gota de agua, lo que ignoramos es el océano
Isaac Newton



Reconstrucción paleoambiental del área de Somosaguas obra de Eloy Manzanero
(Imagen tomada de Alonso-Torres *et al.*, *enviado*)

A pesar de que en cada uno de los capítulos se han incluido apartados de discusión y conclusiones, creemos que para una visión completa de las aportaciones de esta Tesis es necesario un análisis conjunto de los datos obtenidos de cada uno de los estudios realizados, por lo que en los siguientes apartados incluimos una síntesis de aquellos aspectos de cada estudio que apoyan las conclusiones obtenidas sobre las características del área fuente y la procedencia; la génesis y evolución mineralógica; los procesos de alteración, erosión, transporte y retrabajamiento, y el medio sedimentario; la acción y el grado de diagénesis; y finalmente la inferencia paleoclimática. Como ya se ha comentado en la introducción de esta Tesis, el capítulo 8 tiene su propio apartado de síntesis y conclusiones.

9.1- Clasificación Composicional y Madurez Textural y Mineralógica

Composicionalmente las muestras sedimentarias de los yacimientos de Somosaguas y Húmera se clasifican como arcosas. Aunque el alto contenido en arcillas de todas las muestras, que las clasifica texturalmente como arenas arcillosas o pelitas arenosas (con bajas proporciones de cantos), indica que hay más de un 15% de matriz arcillosa y por lo tanto la clasificación debe ser de arcosas arcillosas o *arkosic wackes*.

Se han definido las características del tramo T4 propuesto por Cuevas-González (2005) y se acepta su inclusión como un tramo diferente a los inferiores. Además, se han definido dos nuevos tramos T5 y T6, aunque por no disponer de registro entre ambos tramos, la asignación del nombre T6 es provisional, quedando abierta la posibilidad de que haya algún tramo diferente entre estos dos tramos. Se corroboran desde el punto de vista petrológico, mineralógico y textural las diferencias observadas en estudios previos (Cuevas-González, 2005a; Élez, 2005; Fesharaki, 2005) en el interior del denominado tramo T3 de Somosaguas y por lo tanto se pueden definir 6 o tal vez más niveles internos indicando un origen por múltiples pulsos sedimentarios y no un único proceso. Los estudios de detalle realizados en ambos yacimientos permiten observar gran similitud entre los tramos de Húmera y los tramos de la parte media de la secuencia estudiada en Somosaguas (tramos T-1 a T1, aproximadamente), por lo que, a falta de más estudios en zonas situadas entre ambos yacimientos, se pueden considerar como tramos correlacionables, aún teniendo en cuenta, la gran variabilidad lateral de facies existente en ambientes de abanicos aluviales.

La inmadurez textural de los sedimentos estudiados es clara, con altos contenidos en arcillas, clastos generalmente subangulosos y subredondeados, y mala selección de tamaños en la mayoría de muestras, sin tendencias claras de variación. Los sedimentos estudiados presentan como minerales mayoritarios cuarzo y feldespatos, seguidos de micas (principalmente biotita), con pequeñas cantidades de minerales densos (principalmente turmalinas, circones y apatitos en Somosaguas y en cantidades también importantes en Húmera, andalucitas, granates y epidotas). Además de los minerales ligeros nombrados forman parte de los componentes mayoritarios los fragmentos de roca, principalmente faneríticos (granitos y gneises en sentido amplio) aunque también lábiles (pizarras, filitas y esquistos). Se observan variaciones en la vertical (de base a techo de la secuencia estudiada), con tendencia hacia el aumento de los feldespatos, de los fragmentos de roca y disminución del cuarzo, con variaciones menos claras de los filosilicatos, al mismo tiempo que los minerales densos transparentes aumentan y disminuyen los opacos, y dentro de los transparentes aumentan turmalina y apatito y disminuyen sillimanita, andalucita, estaurolita y granate. Mientras que las variaciones

de los minerales ligeros parecen indicar un aumento de la inmadurez mineralógica, la variación del índice ZTR, principalmente causado por el aumento de la turmalina, parece indicar lo contrario, estando relacionados con diferentes aspectos de la evolución de la zona, como se explicará en los siguientes apartados. Se ha observado cierta disminución de los fragmentos de roca lábiles hacia techo de la secuencia estudiada, lo que parece estar acorde con las variaciones de los minerales densos como se comentará en el apartado 9.3. La fracción arcillosa está compuesta mayoritariamente por esmectitas dioctaédricas, y en mucha menor concentración por micas *s.l.* (principalmente illitas, pero también fengitas y fases con cargas prácticamente de micas) y con cantidades, en general, muy reducidas de caolinita. También están presentes los interestratificados illita/esmectita. Las esmectitas son montmorillonitas y beidellitas, con algunas fases intermedias tanto entre estas dos fases dioctaédricas como entre éstas y fases trioctaédricas (¿saponitas?). La presencia de esta asociación de arcillas es coherente con las zonas de composición arcósica de borde de cuenca ya que es más hacia centro de cuenca donde son comunes las sepiolitas y esmectitas magnésicas.

Se ha observado la especificidad de los niveles de arenas micáceas que en general tienen características tanto sedimentológicas como mineralógicas ligeramente diferentes a las del resto de las muestras estudiadas. En general, son más maduras tanto textural como mineralógicamente, aunque también se observan variaciones internas a lo largo de la secuencia estratigráfica estudiada. Todas estas diferencias son indicativas de procesos y medios ligeramente diferentes a los que han generado el resto de niveles arenosos, como se explicará en los próximos apartados.

Finalmente, podemos indicar que los niveles con arcillas blancas sepiolíticas indicadas en el yacimiento de Somosaguas en las primeras publicaciones realizadas sobre este yacimiento no son tales, sino que se corresponden a finos intercrecimientos de carbonatos micríticos (carbonatos laminares ¿calcretas?) con arcillas esmectíticas, seguramente bajo la influencia de la acción edáfica.

9.2- Génesis y Evolución de las Paleoalteraciones y Transformaciones Minerales

Los minerales principales (cuarzo, feldespatos y micas) son heredados del área fuente al igual que los minerales de la fracción densa y los fragmentos de roca. La baja proporción de caolinita no permite una caracterización de su origen aunque estudios previos han indicado su carácter heredado para las formaciones de arcosas de borde de cuenca. Este hecho concuerda con la existencia de un clima relativamente árido y unas condiciones locales con pH más altos de los que se necesitan para la formación de la caolinita o su transformación a partir de otros minerales en la propia cuenca. El efecto de mayores precipitaciones en el área fuente y ambientes graníticos más ácidos podrían haber sido las causantes de su formación a partir de la alteración de feldespatos e incluso micas en el área fuente, de donde habría llegado heredada en pequeñas proporciones a la cuenca. Se observan procesos de disolución de feldespatos y transformación de plagioclasas en filosilicatos, principalmente de composiciones illíticas.

Los procesos de alteración han dado lugar a dos líneas de transformación mineral a partir de las micas: (1) por una parte las micas dioctaédricas (moscovitas y fengitas) han evolucionado a illitas dioctaédricas y de éstas a beidellitas y beidellitas pobres en Fe, y en algunos casos extremos a beidellitas con muy baja carga. Es bastante probable que en

estadios intermedios de esta transformación se formasen interestratificados I/Sm. Todo este proceso conlleva una disminución del tamaño de las partículas por acción mecánica y química, pérdida constante de carga, lavado de K y Fe, y una ligera reorganización estructural debido a la entrada de cationes hidratados (Ca y Na) en el espacio interlaminar; (2) una segunda línea de alteración empezaría con la degradación de las micas trioctaédricas, por exfoliación y fragmentación mecánica, a fases de aspecto micáceo con cargas propias de illitas y vermiculitas; proseguiría con la pérdida de parte del potasio interlaminar y la entrada de cationes hidratados (Ca y Na) formándose beidellitas muy férricas de elevadas cargas y con bastante potasio; finalmente se obtendrían beidellitas s.s. y tal vez beidellitas pobres en Fe y baja carga laminar.

Las fases intermedias entre minerales dioctaédricos y trioctaédricos (¿saponitas?) obtenidas podrían representar interestratificados con láminas de beidellitas y láminas de illitas trioctaédricas o fases mal definidas de esmectitas trioctaédricas, que serían los intermedios de reacción en el paso de las micas trioctaédricas a las beidellitas dioctaédricas, o incluso, como se ha descrito en otras zonas de la cuenca fases producidas por transformación a partir de las beidellitas. Finalmente, se puede discutir si es posible que al menos una parte de las illitas (las menos férricas) se hayan obtenido por la alteración de las plagioclasas. Las láminas delgadas analizadas muestran epimatrices con algunos granos de plagioclasa con toda su superficie alterada a minerales filosilicáticos, que por sus birrefringencias parecen illitas, por lo que algunas illitas e incluso esmectitas con poco hierro y baja carga podrían proceder no solo de la línea de alteración de la moscovita sino que también de las transformaciones minerales a partir de la plagioclasa.

Otro grupo de minerales serían los formados en la propia cuenca de sedimentación, por procesos de neoformación. Entre estos están la montmorillonita (esmectita dioctaédrica) que tanto por sus características morfológicas y composicionales como por las microtexturas en forma de recubrimientos de granos detríticos se considera como un mineral autigénico. Se han observado algunas composiciones cristaloquímicas intermedias entre las beidellitas y las montmorillonitas, y algunas montmorillonitas férricas, lo que indica que en el área de estudio son posibles los procesos de interestratificación entre dos tipos diferentes de esmectitas dioctaédricas. Esto podría deberse a procesos de alteración edáfica cerca del propio área de estudio ya que las composiciones beidellíticas suelen estar asociadas a estos procesos o también a procesos de alteración de micas que tuviesen como últimas componentes las montmorillonitas, con lo que se tendrían dos fases montmorilloníticas de diferente origen en el área de estudio. En todo caso, estas fases intermedias son muy escasas y por lo tanto, sus procesos formadores no han debido ser muy importantes o por lo menos no han debido tener el suficiente tiempo de actuación.

Los carbonatos observados en el área de estudio también son neoformados (intracuencales), aunque se diferencian tres tipos. *Chips* de carbonatos micríticos, que envuelven minerales detríticos y arcillas, que se han formado durante procesos de retrabajamiento de antiguos niveles poco desarrollados de carbonatos laminares en sus áreas de procedencia. Carbonatos laminares, de potencia milimétrica a centimétrica y entre 0,20 y 20 m de extensión lateral, que tienen composición calcítica y textura micrítica con intercrecimientos ocasionales con arcillas. Éstas se pueden interpretar como carbonatos relacionados con procesos edáficos *in situ*, dado que además, en ellos son mucho más comunes las beidellitas que las montmorillonitas. Finalmente, en

Húmera se han distinguido cementos carbonáticos poiquilotópicos que indican precipitación directa en el mismo área del yacimiento y que están relacionados con procesos post-sedimentarios, por lo que serán tratados con mayor detalle en el apartado dedicado a la diagénesis.

9.3- Características del Área Fuente y la Procedencia

El área fuente de los sedimentos estudiados ha sido la Sierra de Guadarrama en el Sistema Central español. El ambiente geotectónico inferido a partir del estudio composicional indica una transición entre los tipos “transición continental” y “basamento elevado” (Dickinson *et al.*, 1983), que sería acorde con los estudios tectónicos que asocian una importante etapa de elevación y actividad tectónica en el Aragoniense medio (Álvaro *et al.*, 1979; Calvo *et al.*, 1989; De Vicente *et al.*, 1996), momento en que se formaron los dos yacimientos estudiados.

Las representaciones de los datos composicionales (ligeros y densos) y los estudios varietales de cuarzos indican una composición del área fuente claramente granítica y gnéisica, con aportes menores de materiales metamórficos de menor grado. Como se ha comentado en el primer apartado de este capítulo, se observa que de base a techo de la sucesión estudiada disminuyen los fragmentos de roca indicadores de bajo y medio grado metamórfico (esquistos, pizarras y filitas). Este hecho indica una ligera variación en la composición del área fuente con mayores aportes metamórficos de bajo grado en los tramos inferiores que en los superiores. Interpretamos este hecho como un proceso de erosión de finas coberteras de litologías esquistosas y pizarrosas que han dado paso a zonas claramente dominadas por litologías mixtas entre granitoides y gneises. El aumento de minerales densos transparentes a la par que disminuyen los opacos serían acordes con este hecho, ya que los minerales transparentes son más comunes en las litologías graníticas. La tendencia de aumento de turmalina y apatito y la ligera disminución de estauroлита, granate o sillimanita hacia techo de la secuencia estudiada, indicarían un proceso similar de mayores aportes graníticos. La turmalina está muy relacionada con áreas filonianas y pegmatíticas, por lo que se puede interpretar un mayor aporte por parte de este tipo de litologías según se asciende en la secuencia estratigráfica. Otros indicadores como las inclusiones en los cuarzos, la cantidad y tipología de micas o las variaciones del contenido en cuarzo policristalino son concordantes con todo lo descrito hasta ahora. Finalmente, la observación de texturas micrográficas, granofídicas, pertíticas y mirmequíticas apoyan la asignación del área fuente a litologías graníticas como aporte mayoritario, al igual que los datos procedentes de los análisis clastométricos que aún teniendo valores de medias y medianas inferiores a los propuestos para sedimentos generados en el área fuente (Palomares *et al.*, 1990) son indicativas de procedencia granítica o mixta granítico-gnéisica.

9.4- Características del Transporte desde el Área Fuente

Los medios de transporte de los sedimentos del área de estudio desde su área fuente han sido variados. El estudio textural de los sedimentos de los yacimientos de Somosaguas y Húmera, muestra que los mecanismos de transporte también han sido variados, pero siempre dominados por las poblaciones de saltación y suspensión, que en ocasiones aparecen algo mezcladas y en otras ocasiones presentan una población de rólido, coincidente con los niveles de litologías de arenas más gruesas. Los procesos generadores de estos sedimentos gradarían entre el transporte tractivo en flujos

relativamente poco viscosos y el transporte en masas viscosas y energéticas que se producirían de forma rápida y con moderadas tasas de sedimentación tipo *mud* o *grain flow*.

En todo caso, como es lógico, estos procesos de transporte no se han desarrollado en una única fase producida por un único evento, sino que comprenden múltiples episodios de transporte y sedimentación, que incluso podrían haber sido lo suficientemente distanciados en el tiempo como para dar tiempo para la generación de finas capas edáficas. Esta inferencia está apoyada en la observación de múltiples indicadores de retrabajamiento sedimentario. Entre otros es importante la observación de granos de cuarzo muy redondeados junto a otros muy angulosos y otros con golfos de corrosión, de la coexistencia de granos de plagioclasas con múltiples grados de alteración, de fragmentos de roca meta-sedimentaria o de *chips* de carbonatos retrabajados, y que concuerdan con un momento de reactivación tectónica en el Sistema Central.

9.5- Características Paleoambientales y del Medio Sedimentario

La secuencia estudiada es típica de un ambiente intermedio entre zonas distales de abanicos aluviales y zonas de llanuras arenosas o fangosas del interior de la cuenca sedimentaria. Este paisaje general tendría multitud de subambientes con formación de zonas encharcadas posiblemente con procesos de desecación ocasionales debidos a la baja altura de la lámina de agua, y la llegada esporádica de sedimentos en flujos laminares que generarían pequeños “deltas” en su intersección con estas zonas encharcadas, lo que coincide con las interpretaciones de Díez-Canseco *et al.* (2012) de las arenas micáceas de Somosaguas. También se podrían registrar *levees* naturales en ambientes intermedios. La neoformación de las montmorillonitas necesitaría de ambientes con mal drenaje y pH relativamente elevados (en torno a 7 o superiores), por lo que este tipo de ambientes con charcas locales de poca profundidad y con poca renovación serían ideales para su formación. Las características de las litologías de arenas micáceas las sitúan en zonas algo menos distales que las definidas en estudios previos en las zonas de transición y por lo tanto indican la existencia de niveles de base locales, distanciados del centro de la cuenca, en los que se pueden reproducir algunas de las características de estos ambientes de transición. La relación “arena”/“arcilla” propuesta por Torres *et al.* (1995) entra en el rango de materiales arcillosos o mixtos para las muestras de los yacimientos de Somosaguas y Húmera, y por lo tanto, se corrobora la asignación de este área al denominado “Pasillo lutítico de Majadahonda” durante su depósito. Este tipo de ambientes con desecaciones temporales, que generarían variaciones en la altura de las aguas subterráneas (nivel freático), podrían explicar las variaciones observadas en las composiciones de las beidellitas y la precipitación de cementos carbonáticos.

Han existido procesos de infiltración de material arcilloso a lo largo del transporte y depósito de estos sedimentos hasta llegar a su posición en el área de estudio y son claros los procesos posteriores de bioinfiltración que se observan incluso en la actividad de la micro y mesofauna actual. Esta observación está acorde con la descripción de estructuras orgánicas generadas por bacterias en algunos de los niveles analizados en el área de Somosaguas-Húmera.

9.6- Características Paleoclimáticas

Tradicionalmente se ha prestado una menor atención a las variaciones climáticas y ambientales registradas en los materiales continentales que los de ambientes marinos. Sin embargo, trabajos recientes como los descritos en los antecedentes de esta Tesis (Böhme, 2003; Bruch *et al.*, 2007; Domingo *et al.*, 2009; entre otros) han observado cambios debidos a un evento de enfriamiento global acontecido entre los 14 y 13,5 millones de años en ambientes terrestres como los yacimientos de Somosaguas. Estas observaciones permiten realizar análisis multidisciplinarios que aporten diferentes indicadores para este y otros cambios paleoclimáticos registrados en materiales terrestres. El estudio de las características de las asociaciones de minerales de la arcilla, minerales ligeros y densos, y aspectos texturales y estratigráficos llevados a cabo en esta Tesis indican una variación en la sucesión sedimentaria que iría de condiciones semiáridas con estacionalidad bien marcada a condiciones de mayor aridez, menor estacionalidad y posiblemente menores temperaturas, acorde con los estudios previos.

La tendencia sedimentológica observada en el tramo T2 de Somosaguas podría corresponder a un aumento de la aridez que disminuyese la altura de la lámina de agua de las charcas locales. Una tendencia similar se observa en el tramo T3, con procesos cada vez más energéticos, que teniendo en cuenta las características mineralógicas no significan mayores precipitaciones sino que son indicativos de procesos mucho más energéticos o torrenciales debidos a la falta de un buen desarrollo de cubierta edáfica y vegetal.

El ligero aumento de illitas acompañado de la menor proporción de esmectitas hacia techo de la secuencia podría ser interpretado como un indicador de climas menos estacionales y con cierta tendencia al enfriamiento, lo que concuerda con la tendencia general observada. Los indicadores utilizados a partir del análisis de la fracción ligera también indican una mayor inmadurez mineralógica hacia techo de la secuencia, con más feldespatos y fragmentos de roca, por lo que se infieren unas condiciones de mayor aridez. Una observación más en este sentido es el aumento de granos de plagioclasa menos alterados hacia techo y la disminución de los más alterados. Dado que estas alteraciones se producen principalmente en los niveles edáficos es congruente con un aumento de la aridez que disminuya la formación de estas fases edáficas e inhiba en cierta medida su desarrollo. En todo caso está claro que la acción edafológica ha sido importante en el área fuente y hasta la zona de depósito por la observación de los típicos cuarzos con golfos de corrosión, de beidellitas ricas en hierro y alta o baja carga, de carbonatos micríticos intercrecidos con arcillas, etc.

Finalmente, el estudio de las asociaciones de minerales de la arcilla con más de 70% de esmectitas y menores cantidades de illitas en los niveles carbonatados (¿calcretas?) indicaría ambientes semiáridos con unas precipitaciones de entre 100 y 500 mm/año, según los criterios de Khadkikar *et al.* (2000). Este hecho concuerda con los datos isotópicos y paleontológicos que muestran un ambiente de sabana semiárida, con algunos parches de vegetación alrededor de las zonas con aguas más perennes alimentadas durante las lluvias estacionales, que tenderían a unas condiciones de enfriamiento y mayor aridez.

9.7- Grado de Diagénesis

Fesharaki (2005) y Domingo *et al.* (2007, 2012b) mediante estudios relacionados con la señal isotópica de restos fósiles y los minerales de la arcilla en el área de los yacimientos de Somosaguas han inferido un grado de diagénesis muy bajo. En la presente Tesis el estudio textural de las muestras de los yacimientos de Somosaguas muestra que en general están mal seleccionadas, predominando la matriz deposicional sobre el resto de tipologías; además los contactos entre los granos son en general inexistentes o puntuales. De los datos anteriores se podría inferir que la génesis de estos sedimentos no está relacionada con procesos diagenéticos. Pero la observación de epimatrices y recubrimientos de arcillas neoformadas indican una diagénesis incipiente, con indicios de compactación y relleno de la porosidad primaria y el inicio de formación de porosidad secundaria debida a la disolución de los granos de feldespato. Dado que el enterramiento de estos sedimentos ha sido escaso, la compactación no ha sido la causante de la disminución de la porosidad, sino que la infiltración mecánica y biológica de arcillas y la neoformación de arcillas en los espacios intergranulares han sido los factores determinantes de este hecho.

Las disoluciones observadas sobre los granos de feldespatos podrían tener diferentes explicaciones. Diversos autores proponen que la acción biológica sobre sedimentos, durante una fase edáfica, origina ataques a los feldespatos de los que se obtienen potasio y silicio necesarios para sus funciones vitales; otros los relacionan con cambios en el pH de los suelos en los que quedan una vez que son meteorizados de la roca madre; otros proponen variaciones en la actividad del K, Na o Ca que generan inestabilidad en los feldespatos; finalmente, otros los relacionan con las fases diagenéticas. Dado que en la zona de estudio se han observado *chips* de carbonatos retrabajados, granos de cuarzo con golfos de corrosión y grados de alteración de feldespatos (en especial plagioclasas) muy variables, la posibilidad de que las disoluciones se deban a procesos fisico-químicos o biológicamente inducidos en ambientes edáficos es la que nos parece más plausible.

De forma general, las características texturales observadas en los sedimentos del yacimiento de Húmera se asemejan a las comentadas para Somosaguas. No obstante, la observación de cementos poiquilotópicos de calcita en determinados niveles de Húmera es una característica que claramente diferencia los procesos que han tenido lugar en uno y en otro yacimiento. El hecho de que estos cementos sean muy discontinuos puede indicar estadios tempranos de la precipitación y por lo tanto de etapas incipientes de diagénesis. Dado que estos cementos carbonáticos ocupan la totalidad del espacio intergranular allá donde se han generado, y que en esos lugares la cantidad de arcillas es mínima o inexistente, se puede inferir una relación directa entre ambos procesos. Múltiples estudios han mostrado la relación entre la presencia completa de recubrimientos de arcillas autigénicas (*coatings*) y la nula cementación, debido a que se inhibe la nucleación del cuarzo o los carbonatos sobre los granos detríticos (Heald y Larese, 1974; Tillman y Almon, 1979, entre otros). Es posible que el aumento de pH favorecido por las esmectitas generara las condiciones propicias para la disolución de feldespatos y cuarzo, y la precipitación de carbonatos (Thomson, 1959; Eslinger *et al.*, 1988). Lo expuesto puede explicar los procesos de cementación diferencial observados, ya que en los lugares en los que ha sido mayor la infiltración y neoformación de arcillas los cementos carbonáticos no han podido formarse, desplazándose su precipitación a zonas más porosas y con menor presencia de recubrimientos de arcillas. Las variaciones

de pH comentados podrían estar causadas por cambios en la altura de las aguas subterráneas, proceso común en zonas con variaciones de temperatura y precipitaciones en ambientes semiáridos (Bustillo y Alonso-Zarza, 2003, 2007; Carrasco *et al.*, 2008).

Los carbonatos micríticos que envuelven granos detríticos y están en ocasiones intercrecidos con arcillas esmectíticas, tienen un origen diferente. Este origen parece estar relacionado con la formación en ambiente edáfico y con la intervención de microorganismos (bacterias). Se han observado diversos tipos de microorganismos en las muestras estudiadas, estando principalmente asociados a niveles ricos en carbonatos laminares y carbonatos micríticos irregulares, por lo que tanto la formación y texturas de estos niveles como la gran variabilidad de composiciones observadas en las esmectitas pueden deberse a la acción biológica de estas bacterias. Este hecho ha sido descrito en otras zonas de la cuenca de Madrid, aunque es una de las primeras veces que se describe en zonas con tan clara influencia arcósica y alejadas del centro de la cuenca.

El estudio de la cristalinidad de illitas y esmectitas y los tipos y proporciones de interestratificados I/Sm observados en los yacimientos de Húmera y Somosaguas indican procesos de alteración exógena y no de diagénesis.

De lo expuesto en este apartado podemos concluir que la historia post-sedimentaria de los sedimentos estudiados ha sido relativamente incipiente, con factores como la cementación carbonática diferencial o la presencia de cementos filosilicáticos de montmorillonitas neoformadas que confirman esta diagénesis en estadios iniciales. La buena cristalinidad de las esmectitas y moderada de la illitas indicaría que sus procesos de transformación han sido principalmente en el sentido del paso de micas a esmectitas, a través de fases illíticas e interestratificados, por lo que se deben principalmente a alteración exógena de micas y no a la diagénesis de esmectitas.

Objetivos de futuro

Los trabajos realizados para la preparación de esta memoria de la Tesis Doctoral están encuadrados dentro de un conjunto de investigaciones más amplias, que pretenden comprender las relaciones entre los restos fósiles y las diferentes fases minerales que se han producido en áreas de las denominadas facies arcósicas (Oeste de Madrid). A este respecto, ya se han iniciado estudios relacionados con características tafo-geoquímicas de los restos fósiles de huesos y dientes de microvertebrados de los yacimientos de Húmera y Somosaguas. Como se ha comentado en los antecedentes de esta Tesis, las características de conservación tafonómica de los restos de microvertebrados son diferentes en ambos yacimientos y por lo tanto, indican procesos diferenciales. Uno de los objetivos más inmediatos es conocer las relaciones entre las tipologías de minerales, y sus variaciones, descritos en este trabajo, y las variaciones producidas en los restos paleontológicos. Los resultados de esta investigación aclararán las características geoquímicas de los medios de depósito de estos materiales, con especial énfasis en los procesos post-sedimentarios que, por ejemplo, también han sido causantes de la precipitación de los cementos carbonáticos.

Diversos trabajos han indagado en las relaciones entre la coloración de los restos óseos de vertebrados y las variaciones de la temperatura, deduciendo procesos ambientales como incendios forestales. La observación de restos con colores muy variados en los yacimientos estudiados abre la puerta a la investigación de sus causas, tanto si son debidas a procesos acontecidos en la fase bioestratinómica (por ejemplo incendios forestales que afectasen a los restos) como si se han producido en la fase diagenética.

Los minerales de la arcilla, como productos de transformación y neoformación, son minerales abundantes en los suelos. El estudio de los suelos y en especial de sus materiales arcillosos y la relación de éstos con los componentes orgánicos es de gran interés en campos como el medio ambiente, la agronomía, la geotecnia e incluso la farmacología. Dado que la acción edáfica se produce como interfase entre la biosfera, la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera, y es importante para el desarrollo de los procesos formadores de minerales de la arcilla, el estudio de sus asociaciones y características en los suelos del área de Somosaguas-Húmera pueden informar sobre los tipos y el desarrollo de paleosuelos, así como otras características paleoambientales y paleoclimáticas. En este mismo sentido se pretende extender la evaluación de los diferentes grados de alteración de plagioclasas a otros tramos estratigráficos del área estudiada para comprobar definitivamente su utilidad como indicador paleoclimático.

Estudios preliminares han permitido conocer las características edafológicas, microzoológicas y de vegetación (Martín-Perea y Fesharaki, 2015; Monterde *et al.*, 2015) en este área, por lo que la finalización de estos trabajos (Blanco Segovia *et al.*, en preparación; Martín-Perea *et al.*, en preparación; Pérez-Fernández *et al.*, en revisión interna) permitirá tener datos actualistas sobre los procesos biológicos que actúan sobre materiales arcósicos (por ejemplo, procesos de bioinfiltración), como paso previo a una mejor caracterización de los procesos acaecidos durante el Aragoniense medio en el área de estudio.

Será prioritario realizar nuevas columnas estratigráficas en las zonas intermedias entre los yacimientos de Somosaguas y Húmera, con el objeto de conocer mejor su

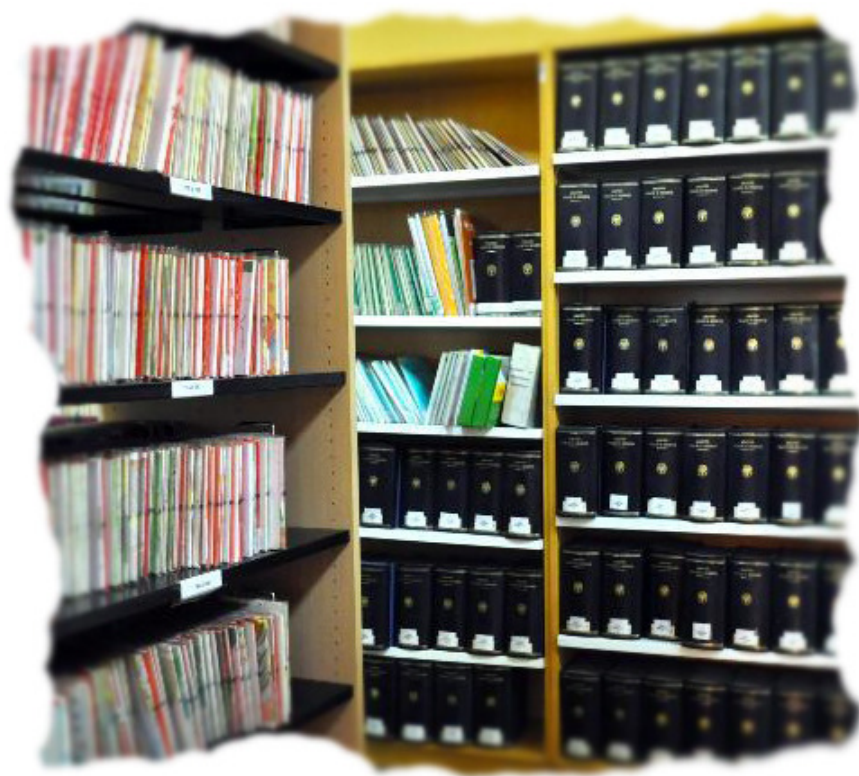
posible correlación, dado que las diferencias mineralógicas y tafonómicas observadas son de cierta importancia, pero presentan también similitudes, como ya se ha comentado.

Extender el estudio de los niveles carbonatados y mejorar la caracterización de las estructuras biogénicas (producidas por bacterias) permitirá comprender mejor los procesos de precipitación de fases carbonatadas, así como determinadas variaciones observadas en las composiciones de las esmectitas. Por ejemplo, conocer de qué composición son las arcillas infiltradas en los huecos generados por la disolución de la dentina, en los restos de dentición de microvertebrados de Húmera, permitirá conocer la ordenación temporal de estas disoluciones y la infiltración o neoformación de las arcillas, lo que tiene gran interés en la definición de las características químicas de los medios en los que se han depositado estos restos paleontológicos, y tal vez desvele el “misterio” de los niveles asociados a ambientes subacuáticos, pero que no presentan ningún vestigio de resto paleontológico.

Finalmente, el compromiso que tenemos los integrantes del EIIGPBS, Geodivulgar y la Asociación Ciencia sin Barreras con la divulgación y la innovación educativa es cada vez mayor, por lo que diferentes trabajos descritos en el capítulo 8 como en preparación, y otros que están en fase de investigación, serán llevados a cabo junto con las actividades anuales de divulgación, con especial atención a los colectivos con diversidad funcional.

Referencias Bibliográficas

Uno no es lo que es por lo que escribe, sino por lo que ha leído
Jorge Luís Borges



- Aguirre, E., Alberdi, M.T., Jiménez, E., Martín Escorza, C., Morales, J., Sesé, C. y Soria, M.D. (1982) Torrijos: nueva fauna con *Hispanotherium* de la Cuenca media del Tajo. *Acta Geologica Hispanica*, 17: 39-61.
- Aguirre, E., Díaz Molina, M. y Pérez González, A. (1976) Datos paleomastológicos y fases tectónicas en el Neógeno de la Meseta Sur española. *Trabajos sobre el Neógeno y el Cuaternario*, 5: 7-29.
- Ahn, J.H. y Peacor, D.R. (1986) Transmission and analytical electron microscopy of the smectite to illite transition. *Clays and Clay Minerals*, 34: 165-179.
- Alberdi, M.T. (Coord.), (1985) *Geología y Paleontología del Terciario continental de la provincia de Madrid*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. MNCN: 1-105.
- Alberdi, M.T., Hoyos, M., Junco, F., López-Martínez, N., Morales, J., Sesé, C. y Soria, M.D. (1983) Biostratigraphie et evolution sedimentarie du Neogene continental de l'aire de Madrid. En: *Mediterranean Neogene continental paleoenvironments and paleoclimatic evolution*, R.C.M.N.S. Interim-Colloquium, Montpellier, France.
- Alberdi, M.T., Hoyos, M., Junco, F., López-Martínez, N., Morales, J., Sesé, C. y Soria, M.D. (1984) Biostratigraphy and sedimentary evolution of continental Neogene in the Madrid basin. *Paléobiologie Continentale*, 14: 47-68.
- Alberdi, M.T., Hoyos, M., Mazo, A.V., Morales, J., Sesé, C. y Soria, M.D. (1985) Bioestratigrafía, paleoecología y biogeografía del Terciario de la provincia de Madrid. (M.T. Alberdi, Ed.) CSIC, Madrid: 99-105.
- Alberdi, M.T., Jiménez, E., Morales, J. y Sesé, C. (1981) Moratines: primeros micromamíferos en el Mioceno medio del área de Madrid. *Estudios Geológicos*, 37: 291-305.
- Alcalá, L., González, A. y Luque, L. (2010a) Los talleres paleontológicos como recurso didáctico interactivo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18(1): 119-124.
- Alcalá, L., González, A. y Luque, L. (2010b) Talleres paleontológicos como recurso en la enseñanza de la Geología y la Biología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18(2): 126-221.
- Alcalá del Olmo, L., Badorrey, T. y Moreno J.L. (1979) Estudio sedimentológico contrastado de la "Facies Madrid" y la "Facies Rojiza" de Guadalajara. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 38: 1533-1541.
- Aleixandre, T., Pinilla, A. y García González, M.T. (1981) Procesos de alteración de minerales en suelos de la Sierra de Guadarrama (Xerochrepts y Xerumbrepts). *Anales de Edafología y Agrobiología*, 40: 1879-1896.
- Alfaro, P., Brusi, D. y González, M. (2008) Cine de catástrofes, ¡Qué catástrofe de cine! En: *Actas del XV Simposio sobre Enseñanza de la Geología* (A. Calonge, L. Rebollo, M.D. López-Carrillo, A. Rodrigo & I. Rábano, Eds.), Cuadernos del Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España, 11: 1-12.
- Alfárez, F., Molero, G., Maldonado, E., Bustos, V., Brea, P. y Buitrago, A.M. (1982) Descubrimiento del primer yacimiento cuaternario (Riss-Würm) de vertebrados con restos humanos en la provincia de Madrid (Pinilla del Valle). *Coloquios de Paleontología*, 37: 15-32.
- Alía Medina, M. (1960) Sobre la tectónica profunda de la fosa del Tajo. *Notas y comunicaciones, Instituto Geológico y Minero de España*, 28: 125-162.

- Alía, M., Portero, J.M. y Martín Escorza, C. (1973) Evolución geotectónica de la región de Ocaña (Toledo) durante el Neógeno y Cuaternario. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 71: 9-20.
- Allen, J.R.L. (Ed.), (1982) *Sedimentary structures: Their character and physical basis*. Volume II. Elsevier Scientific Publishing Company, USA.
- Alonso, A. y Mas, R. (1982) Correlación y evolución paleogeográfica del Cretácico al Norte y Sur del Sistema Central. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 8: 145-166.
- Alonso, J.J., García, J. y Riba, O. (1961) Sedimentos finos del centro de la Meseta terciaria del Tajo. En: *II Reunión de Sedimentología*, CSIC, Madrid: 21-55.
- Alonso, J.J., García, J. y Riba, O. (1964) Arcillas miocenas de la Cuenca del Tajo. En: *Cursillos y Conferencias*, Instituto Lucas Mallada: 277-286.
- Alonso-Torres, D., Fesharaki, O., Díez-Canseco, D., Manzanero, E. y Alonso Romero, C. (*enviado*) Litoestratigrafía, petrografía y correlación de cinco sondeos (SN-1 a SN-5) realizados en el yacimiento paleontológico de Somosaguas (Aragoniense medio, Madrid): descubrimiento de nuevos niveles fosilíferos. *Estudios Geológicos*.
- Alonso-Zarza, A.M. (1989) Estudio petrológico y sedimentológico de las facies de abanicos aluviales del Neógeno del sector NE de la cuenca de Madrid y su relación con las facies más centrales, provincia de Guadalajara. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 473 pp.
- Alonso-Zarza, A.M. (1999) Initial stages of laminar calcrete formation by roots: examples from the Neogene of central Spain. *Sedimentary Geology*, 126: 177-191.
- Alonso-Zarza, A.M. (2003) Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth-Science Reviews*, 60: 261-298.
- Alonso-Zarza, A.M. y Fort, R. (1991) Caracterización mineralógica de las arenas miocenas del margen NE de la cuenca de Madrid: aplicación a los estudios de procedencia. *Estudios Geológicos*, 47: 157-168.
- Alonso-Zarza, A.M. y Silva, P.G. (2002) Quaternary laminar calcretes with bee nests: evidences of small scale climatic fluctuations, Eastern Canary Islands, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 178: 119-135.
- Alonso-Zarza, A.M., Armenteros, I., Braga, J.C., Muñoz, A., Pujalte, V. y Ramos, E. (coords), (2002) Tertiary. En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons & T. Moreno, Eds.), The Geological Society, Londres: 293-334.
- Alonso-Zarza, A.M., Calvo, J.P. y García del Cura, M.A. (1986) Sedimentología y petrología de los abanicos aluviales y facies adyacentes en el Neógeno de Paracuellos del Jarama (Madrid). *Estudios geológicos*, 42: 79-101.
- Alonso-Zarza, A.M., Calvo, J.P. y García del Cura, M.A. (1992) Palustrine sedimentation and associated features (grainification and pseudo-microkarst) in the Middle Miocene (Intermediate Unit) of the Madrid basin, Spain. *Sedimentary Geology*, 76: 43-61.
- Alonso-Zarza, A.M., Calvo, J.P., García del Cura, M.A. y Hoyos, M. (1990) Los sistemas aluviales miocenos del borde Noreste de la cuenca de Madrid: sector Cifuentes-Las Inviernas (Guadalajara). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 3: 1-2.

Alonso-Zarza, A.M., Calvo, J.P., Silva, P.G. y Torres, T. (2004) Cuenca del Tajo. Capítulo 6: Cuencas cenozoicas. En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.), IGME, Madrid: 556-561.

Alonso-Zarza, A.M., Flores, D., Gómez-Miguélez, N., Herrero, S., Orejana, M., De Paz, D., Refugio, M., Robles, C. y Yagüe, R. (2008) El teatro en las aulas; una forma alternativa de entender la Geología. En: *Actas del XV Simposio sobre Enseñanza de la Geología* (A. Calonge, L. Rebollo, M.D. López-Carrillo, A. Rodrigo & I. Rábano, Eds.), Instituto Geológico y Minero de España: 13-21.

Álvarez-Lao, D.J., Arsuaga, J.L., Baquedano, E., Pérez González, A. (2013) Last Interglacial (MIS5) ungulate assemblage from the Central Iberian Peninsula; The Camino Cave (Pinilla del Valle, Madrid, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 374: 327-337.

Álvarez Ramis, C. (1980) Sur la macroflore du Crétacé continental de l'Espagne. *Mémoire de la Société Géologique de France*, 139: 5-6.

Álvarez Ramis, C. (1999) Investigaciones sobre micro y macroflora del Cretácico Superior de la Comunidad de Madrid, España. En: *X simposio Argentino de paleobotánica y palinología, Publicación Especial - Asociación Paleontológica Argentina*, 6: 7-11.

Álvarez Ramis C. y Doubinger J. (1994) Contribución al conocimiento de la palinoflora Cretácica de la provincia de Madrid; Los Alcores, Guadalix de la Sierra. *Revista Española de Micropaleontología*, 26(2): 5-22.

Álvarez Ramis C. y Fernández Marrón, M.T. (1984) Consideraciones en torno a la microflora de un nivel correspondiente a la serie miocénica del Municipio de Madrid. En: *Memoria del III Congreso Latinoamericano de Paleontología*, 3: 509-515.

Álvarez Ramis C. y Fernández Marrón, M.T. (1996) Situación actual de los conocimientos sobre la paleoflora de la Comunidad de Madrid. *Revista Española de Paleontología, Volumen Especial*: 190-194.

Álvarez Ramis, C., Fernández Marrón, M.T. y Gómez Porter, P. (1984) Micropaleontología vegetal de niveles terciarios de la zona Sur del área de Madrid. *Material suplementario Magnas, IGME* (Inédito).

Álvarez Reyes, D. (2004) La sordoceguera. Una discapacidad singular. En: *La sordoceguera. Un análisis multidisciplinar* (P. Gómez Viñas & E. Romero Rey, Coord.), Colección Estudios, Organización Nacional de Ciegos Españoles, Unidad Técnica de Sordoceguera, 710 pp.

Álvarez Sierra, A., Daams, R. y Lacomba, J.I. (1996) The rodents from the Upper Oligocene of Sayaton 1, Madrid Basin Guadalajara, Spain. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen*, 99(1-2): 1-23.

Álvaro, M., Capote, R. y Vegas, R. (1979) Un modelo de evolución geotectónica para la Cadena Celtibérica. *Acta Geológica Hispánica*, 14: 172-177.

Amaral, E.J. y Pryor, W.A. (1977) Depositional environment of the St. Peter sandstone deduced by textural analysis. *Journal of Sedimentary Petrology*, 47: 32-52.

Ambrós, A y Breu, R. (2007) Cine y educación. El cine en el aula de primaria y secundaria. Editorial Graó, nº 236: 233 pp.

Anguita, F. (1993) Dinomanía y cambio global: dos caras de las Ciencias de la Tierra en la sociedad de hoy. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1(2): 66-67.

- Anguita, F. (1994) Geología, Ciencias de la Tierra, Ciencias de la Naturaleza: paisaje de un aprendizaje global. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1): 15-21.
- Anguita, F. (2006) ¿Por qué insiste el Sistema Educativo español en olvidar la Tierra? *Tierra y Tecnología*, 30: 82-83.
- Ansón, M. (2013) Nuevos datos sobre *Anchitherium* von Meyer, 1834 del Mioceno medio de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). Trabajo fin de Master, Universitat Autònoma de Barcelona, 45 pp.
- Ansón, M. y Hernández Fernández, M. (2013) Artistic reconstruction of the appearance of *Prosantorhinus* Heissig, 1974, the teleoceratine rhinoceros from the middle Miocene of Somosaguas. *Spanish Journal of Palaeontology*, 28(1): 43-54.
- Ansón, M., Hernández Fernández, M. y Saura Ramos, P.A. (2015) Paleoart: term and conditions (a survey among paleontologists). En: *Current Trends in Paleontology and Evolution* (L. Domingo, M.S. Domingo, O. Fesharaki, B.A. García Yelo, A.R. Gómez Cano, V. Hernández-Ballarín, D. Hontecillas, J.L. Cantalapiedra, P. López Guerrero, A. Oliver, J. Pelegrín, M. Pérez de los Ríos, M. Ríos, O. Sanisidro y A. Valenciano, Eds.): 28-34
- Antunes, M.T. (1979) *Hispanotherium* fauna in Iberian middle Miocene, its importance and palaeoecological meaning. *Annales Geologiques des Pays Helleniques*, VIIth International Congress Mediterranean Neogene, Athens: 25-33.
- Aoudjit, H., Robert, M., Elsass, F. y Curmi, P. (1995) Detailed study of smectite genesis in granitic saprolites by analytical electron microscopy. *Clay Minerals*, 30: 135-147.
- Aparicio Yagüe, A. (1971) Estudio geológico del macizo cristalino de Toledo. *Estudios Geológicos*, 27: 369-414.
- Aparicio Yagüe, A. y García Cacho, L. (1982) Geotermómetros y geobarómetros en el área metamórfica del Sistema Central español. *Boletín Geológico y Minero*, XCIII-V: 426-435.
- Aparicio, A., Bellido, F., García Cacho, L. y López Ruiz, J. (1980) Evolución química de las biotitas y moscovitas de las rocas graníticas de las sierras de Guadarrama y Gredos (Sistema Central), durante los procesos de diferenciación magmática. *Estudios Geológicos*, 36: 307-317.
- Armas, P., Moreno, C., Sánchez, M.L. y González, F. (2014) Sedimentary palaeoenvironment, petrography, provenance and diagenetic inference of the Anacleto Formation in the Neuquén Basin, Late Cretaceous, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 53: 59-76.
- Aróstegui, J., Baceta, J.L., Pujalte, V. y Carracedo, M. (2011) Late Cretaceous-Palaeocene mid-latitude climates: inferences from clay mineralogy of continental-coastal sequences (Tresp-Gras area, southern Pyrenees, N Spain). *Clay Minerals*, 46: 105-126.
- Arribas, J. (1986) Sedimentología y diagénesis del Buntsandstein y Muschelkalk de la rama aragonesa de la Cordillera Ibérica (Provincias de Soria y Zaragoza). Tesis Doctoral publicada por la Editorial Complutense: 621 pp.
- Arribas, J. y Tortosa, A. (2003) Detrital modes in sedimenticlastic sand from low-order streams in the Iberian Range, Spain: the potential for sand generation by different sedimentary rocks. *Sedimentary Geology*, 159: 275-303.
- Arribas, J., Alonso, A., Mas, R., Tortosa, A., Rodas, M., Barrenechea, J.F., Alonso-Azcárate, J. y Artigas, R. (2003) Sandstone petrography of continental depositional sequences of an

- intraplate rift basin: western Cameros Basin (North Spain). *Journal of Sedimentary Research*, 73 (2): 309-327.
- Arribas, J., Critelli, S., Le Pera, E. y Tortosa, A. (2000) Composition of modern stream sand derived from a mixture of sedimentary and metamorphic source rocks (Henares River, Central Spain). *Sedimentary Geology*, 133: 27-48.
- Arribas, J., Díaz Molina, M. y Tortosa, A. (1996) Ambientes de sedimentación, procedencia y diagénesis de depósitos de ríos meandriformes desarrollados sobre playa-lakes; Mioceno de la cuenca de Loranca (provincias de Cuenca y Guadalajara). *Journal of Iberian Geology*, 21: 319-343.
- Arribas, J., Gómez-Gras, D., Rosell, J. y Tortosa, A. (1990) Estudio comparativo entre las areniscas paleozoicas y triásicas de la isla de Menorca: Evidencias de procesos de reciclado. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 3: 105-116.
- Ausubel, D. (1976) *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas, México, 769 pp.
- Aznar Aguilera, J.M. y Pérez González, A. (1990) Hoja Geológica nº 535 (Algete). Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, 2ª serie (MAGNA). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Badraoui, M. y Bloom, P.R. (1990) Iron rich high charge beidellite in vertisols and mollisols of the high Chaouia Region of Morocco. *Soil Science, American Society Journal*, 54: 267-274.
- Badraoui, M., Bloom, P.R. y Rust, R.H. (1987) Occurrence of high charge beidellite in vertic haplucolls of Northwestern Minnesota. *Soil Science, American Society Journal*, 51: 813-818.
- Bagnold, R.A. (1937) The size grading of sand by wind. *Proceedings of the Royal Society of London, Ser. A*, 163: 252-264.
- Bailey, S.W. (1980a) Summary of recommendations of AIPEA Nomenclature Committee. *Clay Minerals*, 15: 85-93.
- Bailey, S.W. (1980b) Structures of layer silicates. En: *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification* (G.W. Brindley y G. Brown, Eds.), Monograph 5, Mineralogical Society, London: 1-124.
- Banfield, J.F. y Eggleton, R.A. (1988) A transmission electron microscope study of biotite weathering. *Clays and Clay Minerals*, 36: 47-60.
- Barahona, E. (1974) Arcillas de ladrillería de la provincia de Granada: Evaluación de algunos ensayos de materias primas. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 309 pp.
- Barba, A.M, Hernando, I., Hernando, J. y Barba, C. (1993) Cloritas en suelos desarrollados sobre gneis en el valle del Páucar. *Actas del XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, Salamanca: 1481-1487.
- Barba, A.M, Hernando, I., Hernando, J. y Barba, C. (1995) Composición de micas-illitas en suelos de montaña, desarrollados bajo robledal y pinar. *Historia Natural*, 93: 29-38.
- Barshad, I. (1966) The effect of variation in precipitation on the nature of clay mineral formation in soils from acid and basic igneous rocks. *Proceedings of the International Clay Conference*, 1: 167-173.

- Basu, A. (1976) Petrology of Holocene fluvial sand derived from plutonic source rocks: implications to paleoclimatic interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology*, 46: 694-709.
- Basu, A. (1985) Influence of climate and relief on compositions of sands released at source areas. En: *Provenance of Arenites* (G.G. Zuffa, Ed.). Reidel, Dordrecht: 1-18.
- Basu, A., Young, S.W., Suttner, L.J., James, W.C. y Mack, G.H. (1975) Reevaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology*, 45: 873-882.
- Bazán, C.M., Ramiro, A., Fesharaki, O. y Hernández Fernández, M. (2014) Influencia del medio sedimentario en la estructura de las comunidades de micromamíferos del Aragoniense de la Cuenca de Calatayud-Daroca. En: *New Insights on Ancient Life* (G. Arreguín-Rodríguez, J. Colmenar, E. Díaz-Berenguer, J. Galán, A. Legarda-Lisarrí, J. Parrilla-Bel, E. Puértolas-Pascual & R. Silva-Casal, Eds.), Boltaña, Huesca: 131-134.
- Bazán, C.A. y Vides, M.E. (1995) Evaluación de preconceptos de Geología en alumnos ingresantes en la universidad. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3(3): 164-168.
- Behrensmeyer, A.K. (1978) Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology*, 4: 150-162.
- Belaústegui, Z. (2007) *Amphicyon*, un carnívoro gigante del Aragoniense de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). En: *Cantera Paleontológica* (O. Cambra Moo, C. Martínez Pérez, B. Chavero Macho, F. Escaso Santos, S. Esteban de Trivigno, & J. Marugán Lobón, Eds.), Diputación Provincial de Cuenca, Castilla la Mancha: 73-80.
- Belinchón, M. (2005) Los Museos son de todos. Ciencia y tecnología al servicio de las personas con discapacidad. Editorial CACSA e IVADIS: 57-69.
- Bellanca, A., Calvo, J.P., Censi, P., Neri, R. y Pozo, M. (1992) Recognition of lake-level changes in Miocene lacustrine units, Madrid Basin, Spain. Evidence from facies analysis, isotope geochemistry and clay mineralogy. *Sedimentary Geology*, 76: 135-153.
- Benayas, J., Pérez Mateos, J. y Riba, O. (1960) Asociaciones de minerales detríticos en los sedimentos de la cuenca del Tajo. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 19: 633-670.
- Bennet, R.H., O'Brien, N.R. y Hulbert, M.H. (1991) Determination of clay and shale microfabric signatures. Processes and mechanisms. En: *Microstructure of fine-grained sediments* (R.H. Bennet, W.R. Briant & M.H. Hulbert, Eds.), Springer Verlag, New York: 5-32.
- Benítez-López, G., Fesharaki, O., Gómez Cano, A.R. y Pérez de los Ríos, M. (2009) Equipo de Introducción a la Investigación GeoPaleoBiológica en Somosaguas: Un nuevo enfoque para el aprendizaje de la investigación. *Paleolusitana*, 1: 105-113.
- Berg, R.R. (1975) Depositional environment of Upper Cretaceous Sussex sandstone, House Creek Field, Wyoming. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 59: 2099-2110.
- Bergillos Ruíz, P. (1993) Aplicaciones del medio vídeo en el aprendizaje de la Geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1(1): 44-46.
- Bergounioux, F.M. y Crouzel, F. (1958) Les mastodontes d'Espagne. *Estudios Geológicos*, 14: 223-355.

Biscaye, P.E. (1965) Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geological Society of America Bulletin*, 76: 803-832.

Blair, T. y McPherson, J.G. (1999) Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 69(1): 6-19.

Blanco García, I. (2004) Caracterización de los residuos y estériles generados en las graveras del río Jarama y sus aplicaciones en la industria cerámica. Tesis Doctoral, Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid, 578 pp.

Blanco Segovia, F. (2015) Análisis de la variabilidad espacial en las muestras de roedores del nivel T1 del Mioceno medio de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). Trabajo Fin de Grado, Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid, 19 pp.

Blatt, H. (1967) Provenance determinations and recycling of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37: 1031-1044.

Blatt, H. y Christie, J.M. (1963) Undulatory extinction in quartz of igneous and metamorphic rocks and its significance in provenance studies of sedimentary rocks, *Journal of sedimentary petrology*, 33: 559-579.

Blatt, H. y Jones, R.L. (1975) Proportions of exposed igneous, metamorphic, and sedimentary rocks. *Geological Society of America Bulletin*, 86: 1085-1088.

Blott, S.J. y Pye, K. (2001) Gradistat: a grain-size distribution and statistics packaged for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237-1248.

Bochenski, Z. (2007) The middle Pleistocene avifauna from Pinilla del Valle (Spain). *Geobios*, 40(1): 31-37.

Bocquieur, G. (1971) Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse de Docteur ès Sciences de la Faculté Science. De l'Université de Strasbourg, 350 pp.

Böhme, M. (2003) The Miocene Climatic Optimum: evidence from ectothermic vertebrates of Central Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 195: 389-401.

Bolle, M.P. y Adatte, T. (2001) Paleocene-early Eocene climatic evolution in the Tethyan realm: clay mineral evidence. *Clay Minerals*, 36: 249-261.

Boskey, A.L. (2007) Mineralization of bones and teeth. *Elements*, 3: 385-391.

Bravo, I. (2004) El periodismo científico como especialización periodística. En: *Ciencia y Tecnología en 2004. Anuario 2005 de la Asociación Española de Periodismo Científico*, Madrid: 341 pp.

Brell, J.M., Doval, M. y Caramés, M. (1985) Clay minerals distribution in the evaporitic Miocene sediments of the Tajo Basin, Spain. *Mineralogica et Petrographica Acta*, 29: 267-276.

Breyer, J.A. y Bart, H.A. (1978) The composition of fluvial sands in a temperate semiarid region. *Journal of Sedimentary Petrology*, 48: 1311-1320.

Brigatti, M.F. (1983) Relationships between composition and structure in Fe-rich smectites. *Clay Minerals*, 18: 177-186.

- Brigatti, M.F. y Poppi, L. (1981) A mathematical model to distinguish the members of the dioctahedral smectite series. *Clay Minerals*, 16: 81-89.
- Brindley, G.W. (1980) Order-disorder in clay mineral structures. En: *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification* (G.W. Brindley & G. Brown, Eds.), Monograph 5, Mineralogical Society, London: 125-195.
- Bruch, A.A., Uhl, D. y Mosbrugger, V. (2007) Miocene climate in Europe - patterns and evolution: a first synthesis of NECLIME. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 253: 1-7.
- Brunton, G. (1955) Vapour glycolation. *American Mineralogist*, 40: 124-126.
- Brusi, D., Alfaro, P. y González, M. (2008) Los riesgos geológicos en los medios de comunicación. El tratamiento de las catástrofes naturales como recurso didáctico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16(2): 154-166.
- Brusi, D., Alfaro, P. y González, M. (2011) El cine de catástrofes naturales como recurso educativo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19(2): 193-203.
- Bull, W.B. (1962) Relation of textural (CM) patterns to depositional environments of alluvial fan deposits. *Journal of Sedimentary Petrology*, 32: 211-217.
- Bull, W.B. (1972) Recognition of alluvial fan deposits in the stratigraphic record. En: *Recognition of Ancient Sedimentary Environments* (J.K. Rigby & W.K. Hamblin, Eds.), Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 16: 63-83.
- Bustillo, M.A. (1976) Estudio petrológico de las rocas silíceas miocenas de la Cuenca del Tajo. *Estudios Geológicos*, 32: 451-497.
- Bustillo, M.A. (1980) Petrología y medios sedimentarios de la Caliza del Páramo. *Boletín Geológico y Minero*, 91(3): 63-74.
- Bustillo, M.A. (1984) Sedimentación lacustre-palustre, formación de ópalos y otras silicificaciones en el mioceno medio al sur de Villaluenga. *Estudios Geológicos*, 40: 137-151.
- Bustillo M.A. (2010) Silicification of continental carbonates. En: *Carbonates in continental settings: processes, facies and applications* (A.M. Alonso-Zarza & L.H. Tanner, Eds). *Developments in Sedimentology* (A.J. Van Loon, Ed.), 62: 153-178.
- Bustillo, M.A. y Alonso-Zarza, A M. (2003) Transformaciones edáficas y diagenéticas de los depósitos aluviales distales del Mioceno de la cuenca de Madrid, área de Paracuellos de Jarama. *Estudios Geológicos*, 59: 39-52.
- Bustillo, M.A. y Alonso-Zarza, A M. (2007) Overlapping of pedogenesis and meteoric diagenesis in distal alluvial and shallow lacustrine deposits in the Madrid Miocene Basin, Spain. *Sedimentary Geology*, 198: 255-271.
- Bustillo, M.A. y Bustillo, M. (1988) Características diferenciales e interpretación genética de ópalos constituidos en sedimentos biosilíceos y ópalos inorgánicos (Esquivias, cuenca de Madrid). *Boletín Geológico y Minero*, 99: 615-627.
- Bustillo, M. y Bustillo, M.A. (1994) Estudio geoquímico de perfiles de silcretas en sedimentos arcillosos miocenos de borde de lago (Vicálvaro, Madrid). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 7: 261-272.

- Bustillo, M.A. y Capitán, J. (1990) Secuencias ópalo-arcillosas en zona de borde de lago (Vicálvaro, Cuenca del Tajo). *Boletín Geológico y Minero*, 101: 932-944.
- Bustillo, M.A. y García Romero, E. (2003) Arcillas fibrosas anómalas en encostramientos y sedimentos superficiales: características y génesis (Esquivias, cuenca de Madrid). *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 42: 289-297.
- Bustillo, M.A., Arribas, M.E. y Bustillo, M. (2002) Dolomitization and silicification in low-energy lacustrine carbonates (Paleogene, Madrid Basin, Spain). *Sedimentary Geology*, 151: 107-126.
- Bustillo, M.A., Pérez-Jiménez, J.L. y Bustillo, M. (2012) Caracterización geoquímica de rocas sedimentarias formadas por silicificación como fuentes de suministro de utensilios líticos (Mioceno, cuenca de Madrid). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29: 233-247.
- Bustillo, M.A., Plet, C. y Alonso-Zarza, A.M. (2013) Root calcretes and uranium-bearing silcretes at sedimentary discontinuities in the Miocene of the Madrid basin (Toledo, Spain). *Journal of Sedimentary Research*, 83: 1130-1146.
- Calonge García, A. (2010) La geología que emociona: ¿qué geología enseñamos, qué geología necesitamos y qué geología divulgamos? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18(2): 141-149.
- Calvo, J.P. (2000) Geología del Mioceno de Madrid. En: *Patrimonio Paleontológico de la Comunidad de Madrid* (J. Morales, Ed.), Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid: 95-101.
- Calvo, J.P. y García Yagüe, A. (1985) Nuevos sondeos de investigación geológica en el área de Madrid. *Estudios Geológicos*, 41: 25-31.
- Calvo, J.P. y Pérez González, A. (Coord.), (2004) Memoria de la Hoja geológica a escala 1:50.000, Madrid: N° 559. 2ª Serie, 2ª Edición, IGME: 9-36.
- Calvo, J.P. et al. (1989c) Memoria de la Hoja geológica a escala 1:50.000, Madrid: N° 559. IGME. Madrid: 9-36.
- Calvo, J.P., Alonso-Zarza, A.M. y García del Cura, M.A. (1989a) Models of marginal lacustrine sedimentation as a response to depositional regimes and source rocks in the Madrid Basin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 70: 199-214.
- Calvo, J. P., Daams, R., Morales, J., López-Martínez, N., Agustí, J., Anadón, P., Armenteros, I., Cabrera, L., Civis, J., Corrochano, A., Díaz-Molina, M., Elizaga, E., Hoyos, M., Martín-Suárez, E., Martínez, J., Moissenet, E., Muñoz, A., Pérez-García, P., Pérez-González, A., Portero, J.M., Robles, F., Santisteban, C., Torres, T., Van der Meulen, A.J., Vera, J.A. y Mein, P. (1993a) Up-to-date Spanish continental Neogene synthesis and paleoclimatic interpretation. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 6 (3-4): 29-40.
- Calvo, J.P., De Vicente, G. y Alonso-Zarza, A.M. (1991a) Correlación entre las deformaciones alpinas y la evolución del relleno sedimentario de la Cuenca de Madrid durante el Mioceno. I Congreso del Grupo Español del Terciario. Comunicaciones.
- Calvo, J.P., Fort, R., Alonso-Zarza, A.M., Mingarro, F. y López de Azcona, M.C. (1993b) Contexto geológico y características petrográficas de las rocas carbonáticas del Cerro de La Rosa (Toledo). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 6: 7-17.

- Calvo, J.P., Goy, J.L., Pérez González, A., San José, M.A., Vegas, R., Zazo, C., Hoyos, M., Garrido Megías, A., Brell, J.M., Rincón, R., Ordóñez, S., García del Cura, M.A., Doval, M., Rodas, M., Gallego, E., Morales, E., López-Martínez, N., Alberdi, M.T., Sesé, C., Soto, E., Soria, M.D., Herráez, E., Cerdeño, E., Álvarez-Ramis, C., Fernández-Marrón, M.T., Querol, N. y Gallardo, J. (1986) Resultados del estudio geológico a escala 1/25000 del término municipal de Madrid. Simposio sobre la geotecnología del subsuelo de Madrid: 25-35.
- Calvo, J.P., Ordóñez, S., García del Cura, M.A., Hoyos, M., Alonso-Zarza, A.M., Sanz Montero, M.E. y Rodríguez Aranda, J.P. (1989b) Sedimentología de los complejos lacustres miocenos de la Cuenca de Madrid. *Acta Geológica Hispánica*, 24: 281-298.
- Calvo, J.P., Ordóñez, S., Hoyos, M. y García del Cura, M.A. (1984) Caracterización sedimentológica de la Unidad Intermedia del Mioceno de la zona Sur de Madrid. *Revista de Materiales y Procesos Geológicos*, 2: 145-176.
- Calvo, J.P., Pozo Rodríguez, M., Bellanca, A., Neri, R., Servant-Vildary, S. y Mitsis, J. (1991b) Relationship between lake sedimentary evolution and the origin of opal lithofacies: The Esquivias section, Middle Miocene of the Madrid Basin. En: VI International Flint Symposium, Spain, Abstracts: 38-41.
- Calvo, J.P., Pozo Rodríguez, M. y Servant-Vildary, S. (1988) Lacustrine diatomite deposits in the Madrid Basin (Central Spain). *Geogaceta*, 4: 14-17.
- Calvo Hernández, J.M. y Gil Bazán, E. (1997) Consideraciones sobre la didáctica en las reconstrucciones paleontológicas y su problemática en la Educación Secundaria. *Geogaceta*, 21: 47-49.
- Cañaveras, J.C., Calvo, J.P., Hoyos, M. y Ordóñez, S. (1996) Paleomorphologic features of an Intra-Vallesian paleokarst, Tertiary Madrid Basin: Significance of paleokarstic surfaces in continental basin analysis. En: Tertiary basins of Spain (P.F. Friend & C.J. Dabrio, Eds.), Cambridge University Press: 278-284.
- Capote, R. y Carro, S. (1968) Existencia de una red fluvial intramiocena en la depresión del Tajo. *Estudios Geológicos*, 24: 91-96.
- Capote, R. y Fernández-Casals, M.J. (1978) La tectónica postmiocena del sector central de la Depresión del Tajo. *Boletín Geológico y Minero*, 89: 114-122.
- Capote, R., De Vicente, G. y González Casado, J.M. (1990) Evolución de las deformaciones alpinas en el Sistema Central español. *Geogaceta*, 7: 20-22.
- Caramés, M., López Aguayo, F. y Martín-Vivaldi, J.L. (1973) Nota sobre la mineralogía del sondeo de Tielmes en el Terciario de la Cuenca del Tajo. *Estudios Geológicos*, 29: 307-313.
- Carbonell, J. (2001) La aventura de innovar. El cambio en la escuela. Ediciones Morata, Madrid, 127 pp.
- Carceller Garrido (2012) Tres, Dos, Uno,... ¡Acción! De Geología y Artes Cinematográficas. En: Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología (A.M. Sarmiento, M. Cantano & G.R. Almodóvar, Eds.), Publicaciones de la Universidad de Huelva: 279-288.
- Cárdaba, J.A., Cuevas-González, J., Élez, J., Fesharaki, O., Hernández Fernández, M., López-Martínez, N., Morales, J., Sala-Burgos, N. y Salesa, M.J. (2006) Revisión de la fauna de vertebrados fósiles de Somosaguas (Mioceno medio, Pozuelo de Alarcón, Madrid). En: XXII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología, Libro de Resúmenes: 94-95.

- Cárdaba, J.A., Fesharaki, O., Presumido, M., Ansón, M., Ferrer Mejía, G. y Hontecillas, D. (2015) Excursión por puntos de interés didáctico de la Sierra de Madrid: historia, geología y biología. En: *Current Trends in Paleontology and Evolution* (L. Domingo, M.S. Domingo, O. Fesharaki, B.A. García Yelo, A.R. Gómez Cano, V. Hernández-Ballarín, D. Hontecillas, J.L. Cantalapiedra, P. López Guerrero, A. Oliver, J. Pelegrín, M. Pérez de los Ríos, M. Ríos, O. Sanisidro y A. Valenciano, Eds.): 263-280.
- Cárdaba, J.A., Presumido, M., Fesharaki, O., Casado, A.I., Perales, R. y Muñiz Pérez, M. (2013) New data on taxonomy and biostratigraphy of Húmera paleontological site (Middle Miocene, Madrid Basin). *Spanish Journal of Palaeontology*, 28(1): 29-42.
- Carrasco, A., Sacristán, S., Benítez-López, G., Romero-Nieto, D., Fesharaki, O. y López-Martínez, N. (2008) Aplicaciones paleoclimáticas y paleoambientales de los estudios mineralógicos al yacimiento de vertebrados miocenos de Somosaguas. En: *Palaeontologica Nova* (J. Esteve & G. Meléndez, Eds.), Publicaciones del Seminario de Paleontología de Zaragoza, 8: 135-149.
- Carretero, M.I. y Pozo, M (2007) *Mineralogía aplicada: salud y medio ambiente*. Thomson Editores Spain, Paraninfo S.A., 406 pp.
- Casado, A.I., Fesharaki, O. y Pérez-García, A. (2011) Origen de la vida: evolución de las teorías hacia un inicio organizado por minerales. En: *Viajando a Mundos Pretéritos* (A. Pérez-García, F. Gascó, J.M. Gasulla & F. Escaso, Eds.), Ayuntamiento de Morella, Castellón: 75-92.
- Castilla, G. y De la Iglesia, A. (2008) ¿Qué saben de Paleontología los estudiantes universitarios? En: *Palaeontologica Nova* (J. Esteve & G. Meléndez, Eds.), Publicaciones del Seminario de Paleontología de Zaragoza, 8: 165-173.
- Castilla, G., Fesharaki, O., Hernández Fernández, M., Montesinos, R., Cuevas-González, J. y López-Martínez, N. (2006) Experiencias educativas en el yacimiento paleontológico de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 143: 265-270.
- Castilla, G., López-Martínez, N., Hernández Fernández, M., Fesharaki, O., Cárda, J.A., Cuevas-González, J., Élez, J., Montesinos, R., Pérez-González, S., Sala-Burgos, C., Sala-Burgos, N., Salesa, M.J. y Torices, A. (2009) Actividades educativas en el yacimiento de vertebrados miocenos de Somosaguas (Universidad Complutense, Pozuelo de Alarcón, Madrid). En: *Notas para la Historia Reciente del Museo Nacional de Ciencias Naturales: homenaje a M^a Dolores Soria Mayor* (J. Lobón, & J. Morales, Eds.). Monografías del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), Madrid, 24: 339-415.
- Cavazza, W., Zuffa, G.G., Camporesi, C. y Ferretti, C. (1993) Sedimentary recycling in a temperate climate drainage basin (Senio River, north-central Italy): composition of source rock, soil profiles, and fluvial deposits. En: *Processes controlling the composition of clastic sediments* (M.J. Johnsson & A. Basu, Eds.), Geological Society of America, Special Paper, 284: 247-261.
- Ceballos, L. y Ruiz de la Torre, J. (1971) *Árboles y arbustos de la España peninsular*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid, 512 pp.
- Centeno J.D. y Brell J.M. (1987) Características de las Sierras de Guadarrama y Malagón (Sistema Central Español). *Cuaderno del Laboratorio Xeológico de Laxe*, 12: 79-87.
- Centeno, J.D., Moreno-Eiris, E., Tena, E., González, R., Sanz, M.A., Martínez, M., Rodríguez Morata, C., de Pablo, M.A., Baratas, A., Senderos, A., Moya, E., Martín Rida, A. y Huertas

- Mora, R. (2012) GeoloGuías-BioloGuías: prácticas sobre el terreno autoguiadas para la divulgación y la educación científica. En: Nuevos estándares en la innovación docente en Historia Natural (Beltrán, Conradi, Gutiérrez & Rodríguez, Eds.), Actas del Primer Congreso Internacional de Innovación Docente Universitaria en Historia Natural: 258-263.
- Chamley, H. (1989) Clay sedimentology. Springer Verlag, 623 pp.
- Chayes, F. (1952) Notes on the staining of potash feldspar with sodium cobaltinitrite in thin section. American Mineralogist, 37: 337-340.
- Chayes, F. (1956) Petrographic modal analysis. John Wiley & Sons, New York, 113 pp.
- Cheung, C.S.N., Baud, P. y Wong, T. (2012) Effect of grain size distribution on the development of compaction localization in porous sandstone: Geophysical Research Letters, 39: L21302.
- Civis, J. (2004) Rasgos generales: Estructuración. Capítulo 6: Cuencas cenozoicas. En: Geología de España (J. A. Vera, Ed.), IGME, Madrid: 531-533.
- Clauss, F.L. (1993) Los dinosaurios como recurso didáctico en las enseñanzas medias. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 1(3): 180-187.
- Cleary, W.J. y Conolly, J.R. (1972) Embayed quartz grains in soils and their significance. Journal of Sedimentary Petrology, 42: 899-904.
- Collins, K. y McGowan, A.M. (1974) The form and function of micro-fabric features in a variety of natural soils. Geotechnique, 24: 223-254.
- Colomer, M., Durán, H. y Gold, G. (1993) Conocimientos de Geología en los estudiantes de magisterio de la especialidad de Educación Primaria. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 3(1): 175-179.
- Compton, R. (1962) Manual of field Geology. Wiley and Sons, New York, 378 pp.
- Coronado Vila, I. y Rodríguez García, S. (2010) Bioacumulación de filosilicatos en las paredes de un micro-*burrow* de gusano del carbonífero. Macla, 13: 67-68.
- COSCE (2005) Acción CRECE (Comisiones de Reflexión y Estudio de la Ciencia en España), Confederación de Sociedades Científicas de España, 168 pp.
- Crook, K.A.W. (1968) Weathering and roundness of quartz sand grains. Sedimentology, 11: 171-182.
- Crusafont, M. y Golpe, J. M. (1971) Sobre unos yacimientos de mamíferos Vindobonienses en Paracuellos del Jarama. Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural, 69: 225-259.
- Crusafont, M. y Truyols, J. (1960) El Mioceno de las Cuencas de Castilla y de la Cordillera Ibérica. Notas y Comunicaciones del I.G.M.E., 60: 127-440.
- Crusafont, M. y Villalta, J.F. (1947) Sobre un interesante rinoceronte (*Hispanotherium*) del Mioceno del Valle del Manzanares. Las Ciencias, 22 (4): 869-883.
- Crusafont, M., Ginsbourg, L. y Truyols, J. (1962) Mise en évidence du Sannoisien dans la haute Vallée du Tage (Espagne). C.R. Sc. Acad. Sc Paris, 255: 2155-2157.

- Cuevas, J. (1992) Caracterización de esmectitas magnésicas de la Cuenca de Madrid como materiales de sellado. Ensayos de alteración hidrotermal. Publicación Técnica ENRESA 04/92, 183 pp.
- Cuevas, J., Leguey, S. y Pusch, R. (1994) Hydrothermal stability of saponitic clays from the Madrid Basin. *Applied Clay Science*, 8: 467-484.
- Cuevas, J., Pelayo, M., Rivas, P. y Leguey, S. (1993) Characterization of Mg-clays from the Neogene of the Madrid Basin and their potential as a backfilling and sealing material in high level radioactive waste disposal. *Applied Clay Science*, 7: 383-406.
- Cuevas, J., Vigil, R., Ramírez, S., Pétit, S., Meunier, A. y Leguey, S. (2003) Chemistry of Mg-smectite in lacustrine sediments from Vicalvaro sepiolite deposit, Madrid Neogene Basin (Spain). *Clays and Clay Minerals*, 51(4): 457-472.
- Cuevas-González, J. (2005a) Estudio paleoambiental de los yacimientos aragoneses de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). Tesis de Licenciatura (Inédita), Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid, 72 pp.
- Cuevas-González, J. (2005b) Estado actual de los conocimientos paleontológicos y estratigráficos de los yacimientos aragoneses de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Coloquios de Paleontología*, 55: 103-123.
- Cuevas-González, J. (2006) Estudio isotópico de ^{13}C y ^{18}O en sedimentos y fósiles de los yacimientos de Somosaguas del Mioceno medio (cuenca de Madrid). Diploma de Estudios Avanzados (Inédito), Universidad Complutense de Madrid, 31 pp.
- Cuevas-González, J. y Élez, J. (2006) Arquitectura deposicional de un depósito aluvial basada en la distribución de fósiles de vertebrados del Mioceno de Somosaguas (Madrid). En: XXII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología, libro de resúmenes: 110.
- Cuevas-González, J., Domingo, L. y Fesharaki, O. (2008) Yacimientos de Somosaguas: de la investigación paleontológica a un aula didáctica. En: *Palaeontologica Nova* (J. Esteve & G. Meléndez, Eds.), Publicaciones del Seminario de Paleontología de Zaragoza, 8: 425-431.
- Cuezva, S. y Élez, J. (2000) Estudio preliminar de la microestructura de los huesos fósiles de mamíferos de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid, España). *Coloquios de Paleontología*, 51: 137-158.
- Daams, R., Diaz-Molina, M. y Mas, R. (1996) Uncertainties in the stratigraphic analysis of fluvial deposits from the Loranca Basin, central Spain. *Sedimentary Geology*, 102(1-2): 187-211.
- Daams, R., Freudenthal, M. y Álvarez Sierra, M.A. (1987) Ramblian: a new stage for continental deposits of Early Miocene age. *Geologie en Mijnbouw*, 65: 297-308.
- Daams, R., Freudenthal, M. y Van de Weerd, A. (1977) Aragonian, a new stage for continental deposits of Miocene age. *Newsletters on Stratigraphy*, 6: 42-55.
- Daams, R., van der Meulen, A.J., Álvarez Sierra, M.A., Peláez-Campomanes, P., Calvo, J.P., Alonso-Zarza, A. y Krijgsman, W. (1999) Stratigraphy and sedimentology of the Aragonian (Early to Middle Miocene) in its type area (North-Central Spain). *Newsletters on Stratigraphy*, 37: 103-139.

- Datta, B. (2005) Provenance, tectonics and palaeoclimate of Proterozoic Chandarpur sandstones, Chattisgarh basin: a petrographic view. *Journal of Earth System Sciences*, 114: 227-245.
- De la Ossa, L., Tejedor-Navarro, N. y Fesharaki, O. (2012) Experiencias durante la construcción de un diorama del Mioceno de Somosaguas por parte de alumnos con necesidades educativas especiales. *Enseñanza de la Ciencias de la Tierra*, 20(3): 290-296.
- De Santiago Buey, C., Suárez, M., García Romero, E. y Doval, M. (2000) Mg-rich precursor phase in the Tagus Basin, Spain. *Clays and Clay Minerals*, 48: 366-373.
- De Santiago Buey, C., Suárez, M., García Romero, E., Domínguez Díaz, M.C. y Doval, M. (1998) Electron microscopy study of the illite-smectite transformation in the bentonites from Cerro del Águila (Toledo, Spain). *Clay Minerals*, 33: 501-510.
- De Vicente, G. y Muñoz-Martín, A. (2013) The Madrid Basin and the Central System: A tectonostratigraphic analysis from 2D seismic lines. *Tectonophysics*, 602: 259-285.
- De Vicente, G., Calvo, J.P. y Muñoz-Martín, A. (1996a) Neogene tectono-sedimentary review of the Madrid Basin. En: *Tertiary basins of Spain* (P.F. Friend & C.J. Dabrio, Eds.), Cambridge University Press: 268-271.
- De Vicente, G., González-Casado, J.M., Muñoz-Martín, A., Giner, J.L., y Rodríguez Pascua, M.A. (1996b) Structure and Tertiary evolution of the Madrid Basin. En: *Tertiary basins of Spain* (P.F. Friend & C.J. Dabrio, Eds.), Cambridge University Press: 263-267.
- De Vicente, G., Vegas, R., Muñoz-Martín, A., Silva, P.G., Andriessen, P., Cloetingh, S., González-Casado, J.M., van Wees, J.D., Álvarez, J., Carbó, A. y Olaiz, A. (2007) Cenozoic thick-skinned deformation and topography evolution of the Spanish Central System. *Global and Planetary Change*, 58: 335-381.
- Di Giulio, A., Tribuzio, R., Ceriani, A. y Riccardi, M.P. (1999) Integrated analyses constraining the provenance of sandstones, a case study: the Section Peak Formation (Beacon Supergroup, Antarctica). *Sedimentary Geology*, 124: 169-183.
- Díaz Martínez, E. y García Pardo, B. (1988) Aprovechamiento pedagógico de las rocas ornamentales de las estaciones de metro de Madrid. *Revista Geológica*, 2: 277-283.
- Díaz-Molina, M. (1974) Síntesis estratigráfica preliminar de la serie terciaria de los alrededores de Carrascosa del Campo. *Estudios Geológicos*, 35: 241-251.
- Díaz-Molina, M. y López-Martínez, N. (1979) El Terciario continental de la Depresión Intermedia (Cuenca). *Bioestratigrafía y Paleogeografía*. *Estudios Geológicos*, 35: 149-176.
- Díaz-Molina, M. y Muñoz-García, M.B. (2010) Sedimentary facies and three-dimensional reconstructions of upper Oligocene meander belts from the Loranca Basin, Spain. *AAPG Bulletin*, 94(2): 241-257.
- Dickinson, W.R. (1970) Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *Journal of Sedimentary Petrology*, 40: 695-707.
- Dickinson, W.R. (1985) Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. En: *Provenance of arenites* (G.G. Zuffa, Ed.) . Dordrecht, D. Reidel: 333-361.

- Dickinson, W.R. (1988) Provenance and sediments dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basins. En: *New Perspectives in Basin Analysis* (K.L. Kleinspehn & C. Paola, Eds.), Springer Verlag, New York: 3-25.
- Dickinson, W.R. y Suczek, C.A. (1979) Plate tectonics and sandstone compositions. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63: 2164-2182.
- Dickinson, W.R. y Valloni, R. (1980) Plate settings and provenance of sands in modern ocean basins. *Geology*, 8: 82-86.
- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A., Ryberg, P.T. (1983) Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94: 222-235.
- Diebold, F.E., Lehmish, J. y Zussman, J. (1963) Determination of calcite, dolomite, quartz and clay content of carbonate rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, 33: 124-139.
- Diéguez, M.C. (1986) Nuevo yacimiento de flora Albense en la vertiente Sur de la Sierra de Guadarrama. Soto del Real (Madrid). *Estudios Geológicos*, 42: 361-364.
- Diéguez, C., Agut, D., Caballero, J., Chicote, G. y Torres, Y. (2000) Patrimonio paleobotánico de la Comunidad de Madrid; asociaciones vegetales del Cretácico superior. En: *Patrimonio paleontológico de la Comunidad de Madrid* (J. Morales et al., Eds.), *Arqueología, Paleontología y Etnografía*, 6: 67-83.
- Diéguez, M.C., Montero, A. y Barrón, E. (1993) Las floras fósiles de la Comunidad de Madrid. En: *Madrid antes del Hombre* (J. Morales, Ed.), MNCN-CSIC, Consejería de Educación y Cultura de la Comunidad de Madrid, 15-20.
- Díez-Canseco, D. (2011) Estudio sedimentológico del tramo T2 de los yacimientos paleontológicos de Somosaguas. Trabajo Fin de Master (Inédito), Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid, 51 pp.
- Díez-Canseco, D., López-Martínez, N., Díaz-Molina, M. y Benito, M.I. (2012) Stream mouth deposits in the paleontological site of Somosaguas, middle Miocene, Madrid basin. *Spanish Journal of Palaeontology*, 27: 93-104.
- Doeglas, D.J. (1946) Interpretation of results of mechanical analyses. *Journal of Sedimentary Petrology*, 16: 19-40.
- Domingo, L. (2008) Inferencias paleoclimáticas y paleoambientales en periodos críticos mediante análisis geoquímicos del registro geológico continental. Tesis Doctoral, Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid, 375 pp.
- Domingo, L., Cuevas-González, J., Grimes, S.T., Hernández Fernández, M. y López-Martínez, N. (2009) Multiproxy reconstruction of the palaeoclimate and palaeoenvironment of the middle Miocene Somosaguas sites (Madrid, Spain) using herbivore dental enamel. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 272: 53-68.
- Domingo, L., Koch, P.L., Grimes, S.T., Morales, J. y López-Martínez, N. (2012a) Isotopic paleoecology of mammals and the Middle Miocene cooling event in the Madrid Basin (Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 339: 98-113.

Domingo, L., López-Martínez, N. y Grimes, S.T. (2007) Application of trace elements (Ba, Sr, Zn) to paleoecological reconstruction of Middle Miocene herbivores at Somosaguas site (Madrid, Spain). En: 67th Annual Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology, libro de resúmenes: 69A.

Domingo, L., López-Martínez, N. y Grimes, S.T. (2012b) Trace element analyses indicative of paleodiets in Middle Miocene mammals from the Somosaguas site (Madrid, Spain). *Geologica Acta*, 10: 239-247.

Domingo, M.S., Domingo, L., Sánchez, I.M., Alberdi, M.T., Azanza, B. y Morales, J. (2011) New insights on the taphonomy of the exceptional mammalian fossil sites of Cerro de los Batallones (Late Miocene, Spain) based on rare earth element geochemistry. *Palaio*, 26: 55-65.

Domínguez Díaz, M.C. (1985) Sedimentología y mineralogía de las facies detríticas neógenas en la Cuenca de Madrid (Paracuellos-Torrejón). Tesis de Licenciatura (Inédita), Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid.

Domínguez Díaz, M.C. (1994) Mineralogía y sedimentología del Neógeno del sector centro occidental de la Cuenca del Tajo. Tesis Doctoral, Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid, 310 pp.

Domínguez Díaz, M.C., Brell, J.M., Doval, M. y García Romero, E. (1997) Análisis de los minerales de la arcilla y sus procesos genéticos en las formaciones arcillosas de la Cuenca del Tajo. *Estudios Geológicos*, 53: 185-196.

Domínguez Díaz, M.C., Doval, M., García Romero, E. y Brell, J.M. (1996) Análisis de los procesos de formación de minerales de la unidad de arcillas de la cuenca del Tajo. *Geogaceta*, 20: 1488-1491.

Domínguez Villar, D. (2004) Evolución sedimentaria de una nava de la Sierra de Hoyo de Manzanares, Sierra de Guadarrama (Madrid, España). Implicaciones paleoclimáticas. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, 99: 119-129.

Dott, L.R. (1964) Wacke, graywacke and matrix – What approach to immature sandstone classification? *Journal of Sedimentary Petrology*, 34: 625-632.

Doval, M., Domínguez Díaz, M.C., Brell, J.M. y García Romero, E. (1985b) Mineralogía y sedimentología de las facies distales del borde Norte de la Cuenca del Tajo. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 8: 257-269.

Doval, M., García Santiago, P., Domínguez Díaz, M.C. y Brell, J.M. (1985a) Mineralogía de las arcillas de las facies evaporíticas de la cuenca del Tajo. *Trabajos de Geología*, 15: 267-274.

Doval, M., Martín-García, R., La Iglesia, A. y Alonso-Zarza, A.M. (2012) Clay minerals associations in palaeoweathering profiles from Central Spain: genesis and implications. *Clay Minerals*, 47: 117–129

Doyle, L.J., Carder, K.L. y Steward, R.G. (1983) The hydraulic equivalence of mica. *Journal of Sedimentary Petrology*, 53(2): 643-648.

Drief, A. y Nieto, F. (2000) Chemical composition of smectites formed in clastic sediments. Implications for smectite-illite transformation. *Clay Minerals*, 35: 665-678.

- Drief, A., Nieto, F. y Sanchez-Navas, S. (2001) Experimental clay-mineral formation from a subvolcanic rock by interaction with 1 M NaOH solution at room temperature. *Clays and Clay Minerals*, 49 (1): 92-106.
- Drits, V.A., Salyn, A.L. y Sucha, V. (1996) Structural transformations of interstratified illite-smectite from Dolna ves hydrothermal deposits: Dynamics and mechanisms. *Clays and Clay Minerals*, 44(2): 181-190.
- Duchaufour, P. (1970) *Precis de Pédologie*. Masson et Cie, Paris, 481 pp.
- Eberl, D. (1984) Clay mineral formation and transformation in rocks and soils. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*, 311: 241-257.
- Ehrmann, W., Setti, M. y Marinoni, L. (2005) Clay minerals in Cenozoic sediments of Cape Roberts (McMurdo Sound, Antarctica) reveal palaeoclimatic history. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 229: 187-211.
- Einstein, H.A. (1950) The bed-load function for sediment transportation in open channel flows. U.S. Department of Agriculture, soil conservation service, Technical Bulletin No. 1026, 71 pp.
- Élez, J. (2005) Aplicación GIS 3D a los yacimientos paleontológicos de Somosaguas. Diploma de Estudios Avanzados (inédito), Universidad Complutense de Madrid, 39 pp.
- Elías, C. (2010) El cine como arma de destrucción masiva de la ciencia. *Foro RIF*, 6: 1-3.
- Elliot, J.C. (2002) Calcium phosphate biominerals. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 48(1): 427-453.
- Elmore, K. (1990) *Restructuring schools. The next generation of Educational Reform*. Jossey-Bass, San Francisco, 330 pp.
- Eschner, T.R. y Kircher, E.K. (1984) Interpretation of grain size distributions from measured sediment data, Platte River, Nebraska. *Sedimentology*, 31: 569-574.
- Eslinger, E. y Pevear, D.R. (1988) Clay minerals for petroleum geologists and engineers. *SEPM. Short course notes N° 22*, Society of economic paleontologists and mineralogists, Oklahoma (USA), 422 pp.
- Ezquerro del Bayo, J. (1837) Indicaciones geognósticas sobre las formaciones terciarias del centro de España. *Anales de Minas*, 3: 300-316.
- Feo-Codecido, G. (1956) Heavy-mineral techniques and their application to Venezuelan stratigraphy. *A.A.P.G. Bulletin*, 40: 984-1000.
- Fernández González, F., Rivas Martínez, S. y Gavilán García, R.G. (2001) Variaciones bioclimáticas en Madrid: un estudio sobre cambio climático local. En: *Vegetación y cambios climáticos* (J.F. Mota Poveda & F. Gómez Mercado, Coord.), Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería, España: 243-256.
- Fernández Marrón, M.T, Fonollá Ocete, J.F. y Jiménez Rodrigo, J.C. (2002) Primeros datos paleobotánicos y palinológicos de una flora miocénica procedente de la Unidad Intermedia en el sector central de la cuenca de Madrid. *Geogaceta*, 31: 177-180.

- Fernández Marrón, M.T., Fonollá Ocete, J.F. Sesé Benito, C. y Jiménez Rodrigo, J.C. (2004) Estudio paleoambiental de nuevos yacimientos de plantas y vertebrados de la Unidad Intermedia (Mioceno medio) de la cuenca de Madrid. *Revista Española de Paleontología*, 19 (2): 199-213.
- Fernández Marrón, M.T. y Hably, L. (2005) A new Miocene plant assemblage from Parla, Madrid basin, Spain. *Revue de Paléobiologie*, 24 (2): 647-656.
- Fernández-Pérez, M. (2004) Las tareas de la profesión de enseñar. Siglo XXI. Madrid, 1136 pp.
- Ferrage, E., Lanson, B., Sakharov, B.A. y Drits, V.A. (2005) Investigation of smectite hydration properties by modeling experimental X-ray diffraction patterns: Part I. Montmorillonite hydration properties. *American Mineralogist*, 90: 1358-1374.
- Fesharaki, O. (2005) Mineralogía y sedimentología del Yacimiento Paleontológico de Somosaguas (Mioceno, Cuenca de Madrid). Diploma de Estudios Avanzados (inédito), Universidad Complutense de Madrid, 147 pp.
- Fesharaki, O. y Taboada, I. (*enviado*) Los procesos de biomineralización en humanos: un enfoque didáctico interdisciplinar. *Trabajos de Geología*.
- Fesharaki, O., Arribas, J. y López-Martínez, N. (2015) Composition of clastic sediments from the Somosaguas area (Middle Miocene, Madrid Basin): insights into provenance and palaeoclimate. *Journal of Iberian Geology*, 41(2): 205-222.
- Fesharaki, O., De la Fuente Olmos, D., Navalpotro, T. y Gonzalo-Parra, L. (*enviado*) Adaptación de actividades para la enseñanza de la paleontología a personas con sordoceguera. *Revista Calidad de la Enseñanza*.
- Fesharaki, O., García Romero, E. y Cuevas-González, J. (2005) Caracterización mineralógica del yacimiento paleontológico de Somosaguas (Mioceno, Cuenca de Madrid). En: XIX Reunión de la Sociedad Española de Arcillas, libro de resúmenes: 79-80.
- Fesharaki, O., García Romero, E., Cuevas-González, J. y López-Martínez, N. (2007) Clay mineral genesis and chemical evolution in the Miocene sediments of Somosaguas, Madrid Basin, Spain. *Clay Minerals*, 42: 187-201.
- Fesharaki, O., Torices, A., García-Yelo, B., Tejedor, N., De la Ossa, L. y Hernández Fernández, M. (2012) The Somosaguas Palaeontology Project: An envision of Nieves López Martínez for linking Science and Society. *Spanish Journal of Paleontology*, 27(2): 83-92.
- Fiore, S., Huertas, F.J., Huertas, F. y Linares, J. (2001) Smectite formation in rhyolitic obsidian as inferred by microscopic (SEM-TEM-AEM) investigation. *Clay Minerals*, 36: 489-500.
- Fisher, J.A., Krapf, C.B.E., Lang, S.C., Nichols, G.J. y Payenberg, T.H.D. (2008) Sedimentology and architecture of the Douglas Creek terminal splay, Lake Eyre, central Australia. *Sedimentology*, 55: 1915-1930.
- Flicker, E. (2003) Between brains and breasts - women scientists in fiction film: on the marginalization and sexualization of scientific competence. *Public Understanding of Science*, 12(3): 307-318.
- Flórez, J. y Ruiz, E. (2006) Síndrome de Down. En: Síndromes y apoyos. Panorámica desde la ciencia y desde las asociaciones, (FEAPS, Ed.), 8: 47-76.

- Florido de la Nuez, C., Jiménez González, J.L. y Santana Martín, I. (2002) Obstáculos en el camino hacia Bolonia. Efectos en la implantación del EEES sobre los resultados académicos. *Revista de Educación*, 354: 629-656.
- Folk, R.L. (1951) Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, 21(3): 127-130.
- Folk, R.L. (1974) *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphills publishing, Austin, USA.
- Folk, R.L. y Ward, W.C. (1957) Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3-26.
- Folk, R.L., Andrews, P.B., y Lewis, D.W. (1970) Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 13: 937-968.
- Forslind, E. (1953) Water association and hydrogels. *Proceedings of the 2nd International Congress on Rheology*, Oxford. Butter Worths. Science Publications, London: 50-63.
- Foster, M.D. (1960) Interpretation of the composition of lithium micas. *U.S. Geological Survey Professionals Paper 354E*: 115-147.
- Fraile, S., Amezua, L., Morales, J., Nieto, M., Peláez-Campomanes, P., Salesa, M.J. y Sánchez, I.M. (2000) Terciario. En: *Patrimonio Paleontológico de la Comunidad de Madrid* (J. Morales, Ed.), Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid: 85-101.
- Franzinelli, E. y Potter, P.E. (1983) Petrology, chemistry, and texture of modern river sands, Amazon River system. *Journal of Geology*, 91: 23-39.
- Fregenal-Martínez, M.A. y Meléndez, N. (2010) Lagos y sistemas lacustres. En: *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria* (A. Arche, Ed.), Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid: 299-396.
- Friedman, G.M. (1967) Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37: 327-354.
- Friedman, G.M. (1979) Address of the retiring president of the international association of the sedimentologists: differences in the distributions of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology*, 26: 3-32.
- Friedman, G.M. y Sanders, J.E. (1978) *Principles of Sedimentology*. John Wiley & Sons New York, 729 pp.
- Furió, M., Casanovas-Vilar, I. y Hoek Ostende, L.W. (2011) Predictable structure of Miocene insectivore (Lipotyphla) faunas in Western Europe along a latitudinal gradient. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 304: 219-229.
- Galán, E. (1986) Las arcillas como indicadores paleoambientales. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 9: 11-22.
- Galán, E. y Castillo, A. (1984) Sepiolite-Paligorskite in Spanish Tertiary Basins: Genetical patterns in continental environments. En: *Paligorskite-Sepiolite: Occurrences, genesis and uses. Developments in sedimentology* (A. Singer & E. Galán, Eds.), Elsevier, Amsterdam, 37: 87-124.

- Galán, E., Álvarez, A. y Esteban, M.A. (1986) Characterization and technical properties of a Mg-rich bentonite. *Applied Clay Science*, 1: 295-309.
- Galloway, W.E. (1979) Diagenetic control of reservoir quality in arc-derived sandstones: implications for petroleum exploration. *S.E.P.M. special publication*, 26: 251-562.
- Galloway, W.E. y Hobday, D.K. (1983) Terrigenous clastic depositional systems: Applications to petroleum, coal, and uranium exploration. New York, Springer-Verlag, 423 pp.
- García, A., Mas, R., Segura, M., Carenas, J.F., García-Hidalgo, J.F., Gil, J., Alonso, A., Aurell, M., Bádenas, B., Benito, M.I., Meléndez, A., Salas, R. (2004) Segunda fase de post-rifting: Cretácico Superior. Capítulo 5: Cordilleras Ibéricas y Costero-Catalana. En: *Geología de España* (J. A. Vera, Ed.), IGME, Madrid.
- García Abbad, F. (1975) Estudio geológico de la región del Pantano de Alarcón (Cuenca). Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 475 pp.
- García Álvarez de Toledo, J. y Fernández Sánchez, R. (2011) Difusión y divulgación científica en Internet, en línea: cienciatec.org.
- García Borrás, F.J. (2008) Bienvenido Mister Cine a la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1): 79-91.
- García Borrás, F.J. (2011). Las escenas cinematográficas: una herramienta para el estudio de las concepciones alternativas de física y química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(3): 291-311.
- García del Cura, M.A., Ordóñez, S. y López Aguayo, F. (1979) Estudio petrológico de la Unidad Salina de la Cuenca del Tajo. *Estudios Geológicos*, 35: 325-339.
- García del Cura, M.A., Ordóñez, S. y Calvo, J.P. (1986) La Unidad Salina (Mioceno) en el área de Madrid. Características petrológicas y sedimentarias. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 9: 329-338.
- García-Fernández, J.A. (2004) La atención a la diversidad: Necesidades educativas especiales y diversidad étnica y cultural. En: *El proceso de enseñanza y aprendizaje* (P. Sánchez-Delgado, Coord.), Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad Complutense de Madrid, 279 pp.
- García-Frank, A. y Gomez-Heras, M. (2015) ¿Por qué acercar la ciencia a personas con necesidades especiales? En: *Current Trends in Paleontology and Evolution* (L. Domingo, M.S. Domingo, O. Fesharaki, B.A. García Yelo, A.R. Gómez Cano, V. Hernández-Ballarín, D. Hontecillas, J.L. Cantalapiedra, P. López Guerrero, A. Oliver, J. Pelegrín, M. Pérez de los Ríos, M. Ríos, O. Sanisidro y A. Valenciano, Eds.), Cercedilla, Madrid: 9-10.
- García-Frank, A., Canales, M.L., Gómez-Heras, M., González Acebrón, L., Hontecillas, D., Del Moral, B., Muñoz-García, M.B. y Sarmiento, G.N. (2013) Geodivulgar: una nueva experiencia para la divulgación de la Geología entre alumnos con necesidades educativas especiales por discapacidad intelectual. En: *XX Biental de la Real Sociedad Española de Historia Natural* (I. Rábano & A. Rodrigo, Eds.): 124-125.
- García-Frank, A., Gomez-Heras, M., Gonzalo Parra, L., Canales Fernández, M.L., Muñoz García, M.B., García Hernández, R., Hontecillas, D., Iglesias Álvarez, N., Salazar Ramírez, R.W. Fesharaki, O. Navalpotro, T. Reviejo, M. Rodrigo Sanz, A. González-Acebrón, L., Del Moral, B., Sarmiento, G.N. y Ureta, S. (2014a) Ready-to-serve Geology! Portable kits for scientific divulgation to people with functional diversity. En: *ICERI2014 Proceedings* (L.

Gómez Chova, A. López Martínez & I. Candel Torres, Eds.). IATED Academy: 4666-4672. ISBN: 978-84-617-2484-0

García-Frank, A., Pérez Barroso, R., Espín Forjan, B., Benito Manjón, P., De Pablo Gutiérrez, L., Gómez-Heras, M., Sarmiento, G.N., Canales Fernández, M.L., González Acebrón, L., Muñoz García, M.B., García Hernández, R., Hontecillas, D., Ureta Gil, S. y Del Moral, B. (2014b) Divulgación de la Geología: nuevas estrategias educativas para alumnos con necesidades educativas especiales por discapacidad intelectual: Serie El CSIC en la Escuela. Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 10: 56- 67.

García-Raffi, X. y Hernández Dobon, F.J. (2012) La naturaleza humana: en busca del fuego. En: Prehistoria y cine (P. Jardón, C. Pérez & B. Soler, Eds.). Museu de Prehistoria de Valencia.

García Romero, E. (1988) Estudio mineralógico y estratigráfico de las arcillas de las facies del Neógeno del borde Sur de la Cuenca del Tajo. Tesis Doctoral, Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid, 441 pp.

García Romero, E. (2004) Génesis de arcillas magnésicas en la Cuenca de Madrid: Interrogantes planteados. Boletín Geológico y Minero, 115: 629-640.

García Romero, E., Brell, J.M., Doval, M. y Navarro, J.V. (1990) Caracterización mineralógica y estratigráfica de las formaciones neógenas del borde sur de la Cuenca del Tajo (Comarca de La Sagra). Boletín Geológico y Minero, 101: 945-956.

García Romero, E., Suárez, M. y Bustillo, M.A. (2004) Characteristics of Mg-paligorskite in Miocene rocks, Madrid Basin (Spain). Clays and Clay Minerals, 52: 484-494.

García Santiago, P. (1984) Estudio mineralógico de las arcillas de las facies evaporíticas de la Cuenca del Tajo. Tesis de Licenciatura (Inédita), Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid.

García Yelo, B.A, Gómez Cano, A.R., Cantalapiedra, J.L., Alcalde, G.M., Sanisidro, O., Oliver, A., Hernández-Ballarín, V., López-Guerrero, P., Fraile, S. y Hernández Fernández, M. (2014) Palaeoenvironmental analysis of the Aragonian (middle Miocene) mammalian faunas from the Madrid Basin based on body-size structure. Journal of Iberian Geology, 40: 129-140.

García Yelo, B.A., Gómez Cano, A.R., Sanisidro, O., Domingo, L. y Hernández Fernández, M. (2010) Approximation to the dimensions of the Middle Miocene Iberian savannas. En: 70th Anniversary Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology, libro de resúmenes: 94A.

Garrels, R.M. (1986) Sediment cycling and diagenesis. U.S. Geological Survey Bulletin, 1578: 1-11.

Garzanti, E. y Vezzoli, G. (2003) A classification of metamorphic grains in sands based on their composition and grade. Journal of Sedimentary Research, 73: 830-837.

Gascó, F. y Martínez-Pérez, C. (2007) Detección de ideas previas en Paleontología: datos preliminares. En: Actas del III Encuentro de Jóvenes Investigadores en Paleontología (S. Almécija, I. Casanovas, M. Furió, J. Madurell, J. Marmi & B. Vila, Eds.), Consorci Ruta Minera: 83-94.

Gazzi, P. (1966) Le Arenarie del Flysch Sopracretaceo dell'Appennino Modenese: Correlazioni con il Flysch di Monghidoro. Mineralogica et Petrografica Acta, 12: 69-97.

- Gil, S. (1996) Los juegos didácticos en la asignatura de Paleontología. Un eslabón en el proceso de aprendizaje de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(3): 224-226.
- Gilkes, R.J., Young, R.C. y Quirk, J.P. (1972) The Oxidation of octahedral iron in biotite. *Clays and Clay Minerals*, 20: 303-315.
- Gimeno Sacristán, J. (2005) La educación que aún es posible. Ensayos acerca de la cultura para la educación. Ediciones Morata, Madrid, 183 pp.
- Giné, N. (2009) Cómo mejorar la docencia universitaria: el punto de vista del estudiantado. *Revista Complutense de Educación*, 20(1): 117-134.
- Glagolev, A.A. (1933) On geometrical methods of quantitative mineralogical analysis of rocks. *Transactions of the Institute of Economic Mineralogy*, 59: 1-47.
- Goleman, D. (1996) *Inteligencia Emocional*. Kairós: Barcelona, 493 pp.
- Gómez Cano, A.R., García Yelo, B.A. y Hernández Fernández, M. (2006) Cenogramas, análisis bioclimático y muestreo en faunas de mamíferos: implicaciones para la aplicación de métodos de análisis paleoecológico. *Estudios Geológicos*, 62(1): 135-144.
- Gómez-Gras, D. y Alonso-Zarza, A.M. (2003) Reworked calcretes: their significance in the reconstruction of alluvial sequences (Permian and Triassic, Minorca, Balearic Islands, Spain). *Sedimentary Geology*, 158: 299-319.
- Gomez-Heras, M., García-Frank, A., Gonzalo Parra, L., González-Acebrón, L., Muñoz-García, M.B. y Fesharaki, O. (enviado) Field-based geology teaching for people with deafblindness.
- Gomez-Heras, M., Gonzalo Parra, L., García-Frank, A., Sarmiento, G.N., González Acebrón, L., Muñoz-García, M.B., García Hernández, R., Hontecillas, D., Ureta Gil, M.S., Canales Fernández, M.L. y Del Moral, B. (2014) Geología para sordociegos: una experiencia multisensorial para la divulgación de la ciencia. *El CSIC en la Escuela: investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula*, 12: 45-55.
- González, E., Pino, M., Recabarren, O., Canales, P., Salvadores, L., Chávez, M., Bustos, C., Ramos, P., Busquets, T., Vázquez, F. y Navarro, X. (2011) Paleontología Social: una experiencia educativa sobre ciencia, patrimonio e identidad. *Calidad en la Educación*, 34: 231-245.
- González, J., Fenol, P. y Martín-Vivaldi, J.L. (1970) Estudio mineralógico de los niveles arcillosos del Trías Alpujárride. *Boletín Geológico y Minero*, 83: 620-629.
- González-Acebrón, L., Arribas, J. y Mas, R. (2010) Sand provenance and implications for paleodrainage in a rifted basin: the Tera Group (N. Spain). *Journal of Iberian Geology*, 36(1): 87-106
- González del Tánago, J. (1997) Allanita-(Nd) y minerales de elementos raros en las pegmatitas graníticas de La Cabrera, Madrid (Sistema Ibérico Central). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 10: 83-105.
- Griffiths, J.C. (1967) *Scientific method in analysis of sediments*. McGraw-Hill, New York.
- Grim, R.E. (1968) *Clay mineralogy*. McGraw-Hill, 2nd edition, New York, 596 pp.

- Grim, R.E. y Kulbicki, G. (1961) Montmorillonite: high temperature reactions and classification. *American Mineralogist*, 46: 1329-1369.
- Guggenheim, S. y Martin, R.T. (1995) Definition of clay and clay mineral: joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees. *Clays and Clay Minerals*, 43(2): 255-256.
- Gutiérrez-Marco, J.C. (2005) ¿Sabemos divulgar la Geología que hacemos? *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, 100: 307-322.
- Güven, N. (1988) Smectites. En: *Hydrous phyllosilicates* (S.W. Bailey, Ed.), *Reviews in Mineralogy*, 19: 497-559.
- Güven, N. (1992) Molecular aspects of clay/water interactions. En: *Clay-Water interface and its rheological implications* (N. Güven & R.M. Pollastro, Eds.), *CMS Workshop lectures*, 4: 2-80.
- Güven, N. y Pollastro, R.M. (Eds.), (1992) *Clay-Water interface and its rheological implications: Workshop lectures*, 4, Clay Minerals Society, Boulder Co., 244 pp.
- Halitim, A., Robert, M. y Pedro, G. (1983) Etude expérimentale de l'épigenie calcaire des silicates en milieu confiné. Caractérisation des conditions de son développement et des modalités de sa mise en jeu. *Sciences Géologiques Mémoires*, 71: 63-73.
- Hardenbol, J., Thierry, J., Farley, M.B., Jacquin, T., Graciansky, J., y Vail, P.R. (1998) Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European basins. En: *Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphic of European basins* (J.P. Graciansky, J. Hardenbol & P.R. Vail, Eds.): 3-13.
- Harder, H. (1972) The role of magnesium in the formation of smectite minerals. *Chemical Geology*, 10: 31-39.
- Harms, J.C., Mackenzie, D.B. y McCubbin, D.C. (1965) Depositional environment of the Fox Hills sandstones near Rock Springs, Wyoming: sedimentation of Late Cretaceous and Tertiary outcrops, Rock Springs uplift. *Rocky Mountain Association Geologists, 19th Annual Field Conference, Guidebook*: 113-130.
- Harris, H.D. (1959) Late Mesozoic positive area in western Utah. *A.A.P.G. Bulletin*, 43: 2636-2652.
- Hartmann, D.J. y Beaumont, E.A. (1999) Predicting reservoir system quality and performance. En: *Exploring for oil and gas traps, treatise of petroleum geology* (E.A. Beaumont & N.H. Foster, Eds.), *Handbook of Petroleum Geology*: 1-154.
- Heald, M.T. y Larese, R.E. (1974) Influence of coatings on quartz cementation. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44: 1269-1274.
- Helmold, K.P. (1985) Provenance of pheldspathic sandstones – the effect of diagenesis on provenance interpretations: A review. En: *Provenance of Arenites* (G.G. Zuffa, Ed.). Reidel, Dordrecht: 139-163.
- Hernández-Ballarín, V., Oliver, A. y Peláez-Campomanes, P. (2011) Revisión de las asociaciones de mamíferos del tránsito Aragoniense medio y superior de la Cuenca de Madrid. En: *Viajando a Mundos Pretéritos* (A. Pérez- García, F. Gascó, J.M. Gasulla & F. Escaso, Eds.). Ayuntamiento de Morella, Castellón: 173-182.

- Hernández Fernández, M., Álvarez Sierra, M.A. y Peláez Campomanes, P. (2007) Bioclimatic analysis of rodent palaeofaunas reveals severe climatic changes in Southwestern Europe during the Plio-Pleistocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 251: 500-526.
- Hernández Fernández, M., Cárdena, J. A., Cuevas-González, J., Fesharaki, O., Salesa, M.J., Corrales, B., Domingo, L., Élez, J., López-Guerrero, P., Sala-Burgos, N., Morales, J. y López-Martínez, N. (2006) Los yacimientos de vertebrados del Mioceno medio de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid): implicaciones paleoambientales y paleoclimáticas. *Estudios Geológicos*, 62: 263-294.
- Hernández Fernández, M., Salesa, M.J., Sánchez, I.M. y Morales, J. (2003) Paleoeología del género *Anchitherium* Von Meyer, 1834 (Equidae, Perissodactyla, Mammalia) en España: evidencia a partir de las faunas de macromamíferos. *Coloquios de Paleontología*, volumen extraordinario, 1: 253-280.
- Hernández Martínez, M., Pastor Durán, X. y Navarro Navarro, J. (2011) Trastorno por déficit de atención con o sin hiperactividad en los niños con Síndrome de Down. *Revista Médica del Instituto de Síndrome de Down*, 15(2): 18 -22.
- Hernández Pacheco, E. (1921) Nuevos yacimientos de vertebrados miocenos y deducciones de orden paleofisiográfico. *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Congreso de Oporto, 6: 159-170.
- Hernández Pacheco, E. (1926) Un nuevo yacimiento de mamíferos fósiles del Mioceno de Madrid. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 26: 392-395.
- Hernández Pacheco, E., Alberdi, M.T., y Aguirre, E. (1969) Proceso formativo y época de la Sierra del Guadarrama. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 67: 225-237.
- Hernando, J. y Hernando, I. (1999) Mineralogía de suelos de la Comunidad de Madrid (España). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, 95: 117-126.
- Herráez, E. (1982) Estudio descriptivo y taxonómico del *Anchitherium Aurelianense* (Cuvier) del yacimiento del Puente de Vallecas (Madrid). Tesis de Licenciatura (Inédita). Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid.
- Herráez, E. (1993) Micromamíferos (Roedores y Lagomorfos) del Mioceno del área de Madrid: estudio sistemático y bioestratigráfico. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 338 pp.
- Herráez, E. y Alberdi, M.T. (1983) *Anchitherium Aurelianense* (Cuvier) del yacimiento del Puente de Vallecas (Madrid). *Estudios Geológicos*, 39(5-6): 409-415.
- Herráez, E., Mena Muñoz, P. y Noguera Monteagudo, E. (2000) Los yacimientos paleontológicos dentro del término municipal de Madrid: El Pasillo Verde Ferroviario, cueva Alhambra-Latina y actuaciones limítrofes. En: *Patrimonio Paleontológico de la Comunidad de Madrid* (J. Morales, M. Nieto, L. Amezcua, S. Fraile, E. Gómez, E. Herráez, P. Peláez-Campomanes, M.J. Salesa, I.M. Sánchez, & D. Soria, Eds.), Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid: 47-55.
- Herringshaw, L.G. y McIlroy, D. (2013) Bioinfiltration: irrigation-driven transport of clay particles through bioturbated sediments. *Journal of Sedimentary Research*, 83: 443–450.
- Hodson, D. (1993) Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school sciences. *Studies in Science Education*, 22: 85-142.

- Hollister, C.D. y Heezen, B.C. (1964) Modern graywacke-type sands. *Science*, 146: 1573-1574.
- Hontecillas, D. y Santamaría, A. (2014) *GeoRuta por el Campus de Moncloa*. Geodivulgar: Geología y Sociedad. Departamento de Paleontología. Publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid, 54 pp.
- Hontecillas, D., García Hernández, R., Iglesias Álvarez, N., Gonzalo Parra, L., García-Frank, A., Gómez-Heras, M., Fesharaki, O., Sarmiento, G.N., González Acebrón, L., Muñoz García, M.B., Ureta Gil, S. y Canales Fernández, M.L. (2015) “Se toca pero no se mira”: experiencia multisensorial para la divulgación de la Geología para personas con sordoceguera. En: *Current Trends in Paleontology and Evolution* (L. Domingo, M.S. Domingo, O. Fesharaki, B.A. García Yelo, A.R. Gómez Cano, V. Hernández-Ballarín, D. Hontecillas, J.L. Cantalapiedra, P. López Guerrero, A. Oliver, J. Pelegrín, M. Pérez de los Ríos, M. Ríos, O. Sanisidro y A. Valenciano, Eds.): 151-153.
- Hoyos, M., Junco, F., Plaza, J.M., Ramírez, A. y Ruiz Sánchez-Porro, J. (1985) El Mioceno de Madrid. En: *Geología y Paleontología del Terciario Continental de la Provincia de Madrid* (M.T. Alberdi, Ed.), Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC, Madrid: 9-16.
- Hoyos de Castro, A. y González Parra, J. (1969) Estudio genético de algunos suelos de la sierra de Guadarrama. IV. Arcillas y su génesis. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 28: 643-652.
- Hoyos de Castro, A., Palomar, M.L. y Hernando Costa, J. (1979) Estudio genético del suelo tipo del Alto de los Leones (Madrid). *Anales de Edafología y Agrobiología*, 38: 751-761.
- Hubert, J.F. (1962) A zircon–tourmaline–rutile maturity index and the interdependance of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. *Journal of Sedimentary Petrology*, 32: 440–450.
- Huertas, F., Linares, J. y Martín-Vivaldi, J.L. (1970) Clay minerals geochemistry in basic sedimentary environments. En: *Reunión Hispano-Belga de minerales de la arcilla*. Madrid.
- Huertas, F., Linares, J. y Martín-Vivaldi, J.L. (1971) Minerales fibrosos de la arcilla en cuencas sedimentarias españolas. 1-Cuenca del Tajo. *Boletín Geológico y Minero*, 82: 534-542.
- Huertas Coronel, M.J. (1990) Las asociaciones filonianas tardihercínicas de la sierra de Guadarrama (Sistema Central español). Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 335 pp.
- Huertas Coronel, M.J. y Villaseca, C. (1994) Les derniers cycles magmatiques posthercyniens du système central espagnol: les essaims filonienscalco-alcalins. *Schweizerische mineralogische und petrographische mitteilungen*, 74: 383-401.
- Iglesias Álvarez, N., Fesharaki, O., García-Frank, A., González Acebrón, L., Rico, R., Salazar Ramírez, R., Sacristán Horcajada, S., Martín-Perea, D., Hontecillas, D., García Hernández, R., Gómez-Heras, M., Sarmiento, G.N., Muñoz-García, M.B., Ureta Gil, S., Canales Fernández, M.L. y Del Moral, B. (2015) Dejando huella: divulgación paleontológica para personas con diversidad funcional. En: *Current Trends in Paleontology and Evolution* (L. Domingo, M.S. Domingo, O. Fesharaki, B.A. García Yelo, A.R. Gómez Cano, V. Hernández-Ballarín, D. Hontecillas, J.L. Cantalapiedra, P. López Guerrero, A. Oliver, J. Pelegrín, M. Pérez de los Ríos, M. Ríos, O. Sanisidro y A. Valenciano, Eds.): 154-162. ISBN: 978-84-606-7282-1.
- Ingersoll, R.V. (1978) Petrofacies and petrologic evolution of the Late Cretaceous forearc basin, northern and central California. *Journal of Geology*, 86: 335-352.

- Ingersoll, R.V. (1983) Petrofacies and provenance of late Mesozoic forearc basin, northern and central California. *A.A.P.G. Bulletin*, 67: 1125-1142.
- Ingersoll, R.V. y Suczek, C.A. (1979) Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal fans, DSDP sites 211 and 218. *Journal of Sedimentary Petrology*, 49: 1217-1228.
- Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.P. y Sares, S.W. (1984) The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson Point-Counting method. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54: 103-116.
- Ingersoll, R.V., Kretchmer, A.G. y Valles, P.K. (1993) The effect of sampling scale on actalistic sandstone petrofacies. *Sedimentology*, 40: 937-953.
- Inman, D.L. (1949) Sorting of sediment in light of fluvial mechanics. *Journal of Sedimentary Petrology*, 19: 51-70.
- Jackson, M.L. (1969) Soil chemical analysis-advanced course: 2nd edition, published by the author, Madison, Wisconsin, 895 pp.
- Jackson M.L. (1975) Soil chemical analysis. Advanced course, University of Wisconsin, College of Agriculture, Department of Soils, Madison, Wisconsin.
- James, W.C., Mack, G.H. y Suttner, L.J. (1981) Relative alteration of microcline and sodic plagioclase in semi-arid and humid climates. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 151-164.
- Jarosewich, E., Nelen, J.A. y Norberg, J.A. (1980) Reference samples for electron microprobe analysis. *Geostandards Newsletter*, 4: 43-47.
- Jiménez-Moreno, G. y Suc, J.P. (2007) Middle Miocene latitudinal climatic gradient in Western Europe: evidence from pollen records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 253: 208-225.
- Johnsson, M.J. (1993) The system controlling the composition of clastic sediments. En: *Processes controlling the composition of clastic sediments* (M.J. Johnsson & A. Basu, Eds.). Geological Society of America, Special Paper 284: 1-19.
- Jones, R.A. (1997) The Boffin: a stereotype of scientists in post-war British films (1945-1970). *Public Understanding of Science*, 6: 31-48.
- Jones B.F. y Galán E. (1988) Sepiolite and palygorskite. En: *Hydrous phyllosilicates* (S.W. Bailey, Ed.), *Reviews in Mineralogy*, 19: 631-674.
- Junco, F. y Calvo, J.P. (1983) Cuenca de Madrid. En: *Libro Jubilar J.M. Ríos, Geología de España*, IGME, Madrid, II: 534-542.
- Keller W.D. (1970) Environmental aspects of clay minerals. *Journal of Sedimentary Petrology*, 40: 788-813.
- Keller, W.D. , Reynolds, R.C. y Inoue, A. (1986) Morphology of clay minerals in the smectite to illite conversion series by scanning electron microscopy. *Clays and Clay Minerals*, 34: 187-197.
- Khadkikar, A.S., Chamyal, L.S. y Ramesh, R. (2000) The character and genesis of calcrete in late Quaternary alluvial deposits, Gujarat, western India, and its bearing on interpretation of ancient climates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 162: 239-261.

- Khormali, F., Abtahi, A. y Owliaie, H.R. (2005) Late Mesozoic-Cenozoic mineral successions of southern Iran and their palaeoclimatic implications. *Clay Minerals*, 40: 191-203.
- Klein, G. (1963) Analysis and review of sandstone classification in the North American geological literature, 1940-1960. *Geological Society of America Bulletin*, 74: 555-576.
- Klimentidis, R.E. (1986) High resolution imaging of ordered mixed-layer clays. *Clays and Clay Minerals*, 34: 155-164.
- Komar, P.D. y Reymers, C.E. (1978) Grain Shape effects on settling rates. *Journal of Geology*, 86: 193-209.
- Kübler, B. (1968) Évaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite. État des progrès realices ces dernières années. *Centre Recherche Pau-S.N.P.A.*, 2: 385-397.
- Lacreu, H.L. (1997) Transformando las rocas (Simulaciones con un modelo analógico). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 5(2): 124-130.
- Lacreu, H.L. (2012) Raíces políticas del analfabetismo geológico. En: *Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología* (A.M. Sarmiento, M. Cantano & G.R. Almodóvar, Eds.), Publicaciones de la Universidad de Huelva: 91-99.
- Lambe, T.W. (1958) The engineering behaviour of compacted clay. *Journal of the soil mechanics and foundations division, ASCE*, 34, 1655 SM2.
- Lázaro-Calatayud, M., Lázaro-Calatayud, B. y Belinchón, M. (2008) La función social de los museos: uso de los fondos paleontológicos del Museo de Ciencias Naturales de Valencia. En: *Palaeontologica Nova* (J. Esteve & G. Meléndez, Eds.), Publicaciones del Seminario de Paleontología de Zaragoza, 8: 249-257.
- Le Pera, E. y Arribas, J. (2004) Sand composition in an Iberian passive-margin fluvial course: the Tajo River. *Sedimentary Geology*, 171: 261-281.
- Le Pera, E. y Critelli, S. (1997) Sourceland controls on the composition of beach and fluvial sand of the northern Tyrrhenian coast of Calabria, Italy: implications for actualistic petrofacies. *Sedimentary Geology*, 110: 81-97.
- Le Pera, E., Arribas, J., Critelli, S. y Tortosa, A. (2001) The effects of source rocks and chemical weathering on the petrogenesis of siliciclastic sand from Neto River (Calabria, Italy): implications for provenance studies. *Sedimentology*, 48: 357-378.
- Leguey, S. y Cuevas Rodríguez, J. (2010) Biomineralizaciones de sílice, dolomita y sepiolita en sedimentos de la cuenca Miocena de Madrid. *Macla*, 13: 13-20.
- Leguey, S. y Doval, M. (1987) Sepiolita, paligorskita y bentonita de la Cuenca del Tajo (Madrid-Toledo). En: *Guía de excursiones* (M. Ortega, Ed.), The sixth meeting of the European Clay Groups. Sevilla, España.
- Leguey, S., Pozo Rodríguez, M. y Medina J.A. (1985) Polygenesis of sepiolite and palygorskite in a fluvial-lacustrine environment in the Neogene basin of Madrid. *Mineralogica et Petrographica Acta*, 29: 287-301.
- Leguey, S., Pozo Rodríguez, M., y Medina, J.A. (1989) Paleosuelos de sepiolita en el Neógeno de la Cuenca de Madrid. *Estudios Geológicos*, 45: 279-291.

Ley 27/2007, de 23 de octubre, por la que se reconocen las lenguas de signos españolas y se regulan los medios de apoyo a la comunicación oral de las personas sordas, con discapacidad auditiva y sordociegas. Boletín Oficial del Estado, 24 octubre 2007, n.º 255: 43251-43259.

Lillo Bevia, J. (1993) Errores conceptuales de los alumnos de EGB sobre la formación de las montañas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1(2): 98-106.

Lima-de-Faria, J. (1994) *Structural Mineralogy. An introduction*. Kluwer Academic publishers, USA, 346 pp.

Lomoschitz, A., Calvo, J.P. y Ordóñez, S. (1985) Sedimentología de las facies detríticas de la Unidad Intermedia del Mioceno al Sur y Este de Madrid. *Estudios Geológicos*, 41: 343-358.

López-Acevedo Cornejo, M.V., Chicote González, J.C., Goñi López, J. y López-Herce Cid, A. (2011) Forma y simetría en la naturaleza. Enseñanza adaptada a personas ciegas a través de métodos cristalográficos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19(2): 186-191.

López García-Gallo, P. y Ramírez M.D. (2001) Taller: ¿Qué es un fósil? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9(2): 190-193.

López González, M.D. y Rodrigo Hitos, J. (2011) Experiencias docentes: Gymkhana Matemática para estudiantes universitarios por la Ciudad Universitaria de Madrid. *Pensamiento Matemático*, 1: 1-15.

López Guerrero, P. (2006) Paleoclimatología de Europa Occidental en el Aragoniense. En: XXII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología, Libro de Resúmenes: 56-57.

López Guerrero, P., Oliver Pérez, A., Álvarez Sierra, M.A., García Paredes, I., Hoek Ostende, L.W. van den, Peláez-Campomanes, P. (2007) Paleontología del yacimiento de vertebrados Aragoniense de Casa Montero (Madrid). En: *Cantera Paleontológica* (O. Cambra-Moo, C. Martínez-Pérez, B. Chamero, F. Escaso, S. de Esteban Trivigno & J. Marugán-Lobón, Eds.), Diputación Provincial de Cuenca, Cuenca: 247-254.

López-Martínez, N., Castilla, G., Cuevas-González, J., Élez, J., Fesharaki, O., Polonio, I., Salesa, M.J. y Torices, A. (2005) Gestión e investigación en Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid): Un yacimiento mioceno de vertebrados en el campus de la Universidad Complutense. En: XXI Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología, Libro de Resúmenes: 14-15.

López-Martínez, N., Élez, J., Hernando, J.M., Luis, A., Mazo, A., Mínguez Gandú, D., Morales, J., Polonio, I., Salesa, M.J. y Sánchez, I. (2000) Los fósiles de vertebrados de Somosaguas (Pozuelo, Madrid). *Coloquios de Paleontología*, 51: 69-86.

López-Martínez, N., Sesé, C. y Herráez, E. (1987) Los yacimientos de micromamíferos del área de Madrid. *Boletín Geológico y Minero*, 98: 159-176.

López Olmedo, F., Díaz de Neira, A., Martín Serrano, A., Calvo, J.P., Morales, J. y Peláez-Campomanes, P. (2003) Estratigrafía de los depósitos arcóscicos en el sector occidental de la Cuenca de Madrid. *Geotemas*, 5: 141-146.

López Olmedo, F., Díaz de Neira, A., Martín Serrano, A., Calvo, J.P., Morales, J. y Peláez-Campomanes, P. (2004) Unidades estratigráficas en el registro sedimentario neógeno del sector occidental de la Cuenca de Madrid. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 171: 87-101.

López Ruiz, J., Aparicio, A., y García Cacho, L. (1975) El metamorfismo de la Sierra de Guadarrama. Sistema Central español. *Memorias del IGME*, Tomo 86, 127 pp.

- López Vera, C.F. (1977a) Hidrogeología regional de la Cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid. Memorias del Instituto Geológico y Minero de España, 91.
- López Vera, C.F. (1977b) Modelo de sedimentación de los materiales detríticos de la Fosa de Madrid. Revista Las Ciencias, 42 (4): 266-275.
- Lozano, R.P., Díaz, E., Jiménez, R. y Baeza, E. (2010) Geología en las paredes: las rocas de tu ciudad. Plan cuatrienal de divulgación social de las Ciencias de la Tierra. IGME: 1-16.
- Lozano, R.P., Galindo, C.Y. y Casquet, C. (1998) Aproximación a la geocronología de las pegmatitas del plutón de La Cabrera (Sierra de Guadarrama, Sistema Central español). Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía, 21-A: 134-135.
- Lozano, R.P., González Laguna, R., González del Tánago, J. y Casquet, C. (2000) Alteración hidrotermal en granitos de La Cabrera (Sistema Central Español). Estudio de minerales accesorios (SEM) en halos de cavidades rellenas de minerales cálcicos. Cadernos Laboratorio Xeológico de Laxe, 25: 329-331.
- Lozano, R.P. y Menéndez, S. (2013) Rocas, minerales y fósiles: las colecciones geológicas de museos públicos. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Museos y Colecciones de Historia Natural. Investigación, educación y difusión, 11: 41-52.
- Luis, A. (2003) Aplicación de la rarefacción al yacimiento de microvertebrados de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, España). Tesis de Licenciatura (inédito), Universidad Complutense de Madrid, 54 pp.
- Luis, A. y Hernando, J.M. (2000) Los microvertebrados fósiles del Mioceno Medio de Somosaguas Sur (Pozuelo de Alarcón, Madrid, España). Coloquios de Paleontología, 51: 87-136.
- Mack, G.H. (1978) The survivability of labile light-mineral grains in fluvial, aeolian and litoral marine environments: the Permian Cutler and Cedar Mesa Formations, Moab, Utah. Sedimentology, 25: 587-604.
- Mack, G.H. (1981) Composition of modern stream sand in a humid climate derived from a low-grade metamorphic and sedimentary foreland fold-thrust belt of north Georgia. Journal of Sedimentary Petrology, 51: 1247-1258.
- Mack, G.H. (1984) Exceptions to the relationship between plate tectonics and sandstone composition. Journal of Sedimentary Petrology, 54: 212-220.
- Madariaga Ortuzar, A. (2010) El ocio como ámbito de desarrollo humano para toda la ciudadanía: la inclusión en ocio de las personas con síndrome de Down. En: Ponencias II Congreso Iberoamericano: Down España, 6: 1-26.
- Manduca, C.A. (2007) Improving instruction in mineralogy, petrology and geochemistry - Lessons from research on learning. Elements, 3: 95-100.
- Mange, M.A. y Maurer, H.F.W. (1991) Schwerminerale in Farbe. Enke, Stuttgart, 148 pp.
- Mange-Rajetzky, M.A. (1995) Subdivision and correlation of monotonous sandstone sequences using high resolution heavy mineral analysis, a case study: the Triassic of the Central Graben. En: Non-biostratigraphical methods of dating and correlation (R.E. Dunay & E.A. Hailwood, Eds.). Geological Society of London Special Publication, 89: 23-30.

Manzanero, E. y Hernández Fernández, M. (2014) Patrón de mortalidad en *Gomphotherium angustidens* del yacimiento de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). En: New Insights on Ancient Life (G. Arreguín-Rodríguez, J. Colmenar, E. Díaz-Berenguer, J. Galán, A. Legarda-Lisarrí, J. Parrilla-Bel, E. Puértolas-Pascual & R. Silva-Casal, Eds.), Boltaña, Huesca: 160-162.

Marfil, R. y Gómez-Gras, D. (1992) Procedencia y modelo diagenético de las areniscas de facies Utrillas en la Cordillera Ibérica (umbral de Ateca) y la Meseta Norcastellana. Revista de la Sociedad Geológica de España, 5(3-4): 101-115.

Martín Albaladejo, C. (2014) El Museo Nacional de Ciencias Naturales y la enseñanza de las Ciencias de la Naturaleza en España: las colecciones como herramienta didáctica. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Sección Aula, Museos y Colecciones, I: 7-24.

Martín Chivelet, J. (1992) Las plataformas carbonatadas del Cretácico superior de la Margen Bética (Altiplano de Jumilla-Yecla, Murcia). Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 899 pp.

Martín de Vidales, J.L., Casas, J., Guijarro, J. y Martín Patino, M.T. (1988) Origen de arcillas aluminicas en horizontes de alteración de materiales graníticos del borde Sur de la Sierra de Guadarrama. Estudios Geológicos, 44: 391-398.

Martín de Vidales, J.L., Pozo-Rodríguez, M., Alía, J.M., García Navarro, F. y Rull, F. (1991) Kerolite-stevensite mixed-layers from the Madrid Basin, Central Spain. Clay Minerals, 26: 329-342.

Martín de Vidales, J.L., Pozo-Rodríguez, M., Medina, J.A. y Leguey, S. (1988) Formación de Sepiolita-paligorskita en litofacies lutítico-carbonáticas en el sector de Borox- Esquivias (Cuenca de Madrid). Estudios Geológicos, 44: 7-18.

Martín Escorza, C. (1974) Sobre la existencia de materiales paleógenos en los depósitos terciarios de la fosa del Tajo, en los alrededores de Talavera de la Reina (Toledo). Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, 72: 141-160.

Martín Escorza, C. (1976) Un ejemplo de actividad tectónica durante el Mioceno del basamento fracturado de la Fosa del Tajo. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, 74: 159-169.

Martín Escorza, C. (1983) Neotectónica de la Cuenca de Madrid. En: Libro Jubilar en honor a J.M. Ríos. Geología de España, Tomo II. IGME, Madrid: 543-553.

Martín Escorza, C. y Hernández Enrile, J.L. (1972) Contribución al conocimiento de la geología del Terciario occidental de la Fosa del Tajo. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, 70: 171-190.

Martín-Perea, D. (2015) New taphonomic inferences on the Middle Miocene vertebrate site of Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). Trabajo Fin de Máster, Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid, 46 pp.

Martín-Perea, D. y Fesharaki, O. (2015) Análisis de montículos de hormigueros: patrones de modificación del sedimento y criterio de prospección paleontológica. En: Current Trends in Paleontology and Evolution (L. Domingo, M.S. Domingo, O. Fesharaki, B.A. García Yelo, A.R. Gómez Cano, V. Hernández-Ballarín, D. Hontecillas, J.L. Cantalapiedra, P. López Guerrero, A. Oliver, J. Pelegrín, M. Pérez de los Ríos, M. Ríos, O. Sanisidro y A. Valenciano, Eds.), Cercedilla, Madrid: 183-185.

Martín-Vivaldi, J.L. y Cano, J. (1956) Contribución al estudio de la sepiolita, caracterización y propiedades de sepiolitas españolas. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 12: 827-855.

Martín-Vivaldi, J.L., Rodríguez-Gallego, M. y Martín Pozas, J.M. (1968) Análisis cuantitativo de filosilicatos de la arcilla por difracción de rayos X. I. Modificación del difractómetro de rayos X para el estudio de la orientación preferente. *Anales de la Real Sociedad Española de Física y Química*, 64: 101-105.

Martínez-Frías, J. (2014) ¿Sabías que en España se organizó un curso de meteoritos para personas con discapacidad? Eventos (enero 2014) <http://www.icog.es/redespa/index.php/sabias-que-en-espana-se-organizo-un-curso-de-meteoritos-para-personas-con-discapacidad/> [Consulta 15-October-2014]

Martínez Parra, M. (2000) ¡Terror en el afloramiento! o cómo el cine interpreta los peligrosos imprevistos. *Tierra y Tecnología*, 20: 63-70.

Martínez Rius, A. (2002) Un juego de rol de las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 10(1): 26-40.

Martínez Ruiz, F. (1994) Geoquímica y mineralogía del tránsito Cretácico-Terciario en las Cordilleras Béticas y en la cuenca Vasco-Cantábrica. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 281 pp.

Mason, R. (1990) *Petrology of the Metamorphic Rocks*. Unwin Hyman, London, 230 pp.

Mata-Perelló, J.M. y Font, J. (1996) El “Ecomuseu del Riu Anoia” un instrumento didáctico para la enseñanza de la Geología. *Geogaceta*, 19: 236-237.

Mazo, A.V. (1976) El *Gomphotherium angustidens* (Cuvier) de la cerámica de Madrid. *Estudios Geológicos*, 32: 331-347.

Mazo, A.V. (1995) *Elephas antiquus* (Proboscidea, Mammalia) en el Pleistoceno medio de Ciempozuelos (Madrid). *Estudios Geológicos*, 51: 69-73.

Mazo, A.V. (2000) Presencia de *Gomphotherium angustidens* (Cuvier) (Proboscidea, Mammalia) en el yacimiento de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Coloquios de Paleontología*, 51: 175-182.

Mazo, A.V. y Alberdi, M.T. (1974) Estudio descriptivo y taxonómico del Mastodonte de Yuncos (Toledo). *Estudios Geológicos*, 30: 47-61.

Mazo, A.V. y van der Made, J. (2012) Iberian mastodons: Geographic and stratigraphic distribution. *Quaternary International*, 255: 239-256.

Meade, R.H. (1964) Removal of water and rearrangement of particles during the compaction of clayey sediments. Review. U.S. Geological Survey Professional Paper 479-B.

Medina Rivilla, A. y Salvador Mata, F. (Coords.), (2009) *Didáctica General*. Pearson Educación, Madrid, 480 pp.

Megías, A. G., Leguey, S. y Ordoñez, S. (1982) Interpretación tectosedimentaria de la génesis de fibrosos de la arcilla en series detríticas continentales (Cuencas de Madrid y del Duero, España). En: Quinto Congreso Latino-Americano de Geología. Buenos Aires, Argentina.

- Megías, A.G., Ordóñez, S. y Calvo, J.P. (1983) Nuevas aportaciones al conocimiento geológico de la cuenca de Madrid. *Revista de Materiales y Procesos Geológicos*, 1: 163-191.
- Mein, P. (1975) Biozonation du Néogène Méditerranéen à partir des Mammifères - VIth Congress of the R.C.M.N.S., Bratislava, Slovakia.
- Meléndez Hevia, I. (2004) *Geología de España, una historia de seiscientos millones de años*. Ed. Rueda, Madrid, 276 pp.
- Melgar, M.F. y Donolo, D.S. (2011) Salir del aula... Aprender de otros contextos: patrimonio natural, museos e Internet. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(3): 323-333.
- Menéndez, I., Gómez Cano, A.R. y Hernández Fernández, M. (2015) Patrón de mortandad de *Megacricetodon collongensis* (MEIN, 1958) en Somosaguas Sur (Mioceno medio, Pozuelo de Alarcón, Madrid). En: *Current Trends in Paleontology and Evolution* (L. Domingo, M.S. Domingo, O. Fesharaki, B.A. García Yelo, A.R. Gómez Cano, V. Hernández-Ballarín, D. Hontecillas, J.L. Cantalapiedra, P. López Guerrero, A. Oliver, J. Pelegrín, M. Pérez de los Ríos, M. Ríos, O. Sanisidro & A. Valenciano, Eds.), 188-190.
- Menéndez Gamella, A., Serrano, H., Presumido, M. Cárdaña, J.A. y Fesharaki, O. (2010) Yacimientos paleontológicos de Húmera (Mioceno medio, Cuenca de Madrid): Datos preliminares en Estratigrafía y Paleontología. *Cidaris*, 30: 187-196.
- Mérida de San Román, P. (2003) El cine. (N. Lucena Cayuela & J. Induráin Pons, Eds.), Larousse Barcelona.
- Meunier, A. (1980) Les mécanismes de l'alteration des granites et le rôle des microsystemes. Etude des arènes du massif Granitique de Parthenay (Deux-Sèvres). *Mémoires de la Société Géologique de France*, 140: 1-80.
- Middleton, G.V. (1976) Hydraulic interpretation of sand size distribution. *Journal of Geology*, 84: 405-426.
- Millán, F.J. (2010) Ciencias de la Tierra, cultura de masas y medios de comunicación. *Enseñanza de la Ciencias de la Tierra*, 18(2): 150-159.
- Mínguez Gandú, D. (2000) Marco estratigráfico y sedimentológico de los yacimientos paleontológicos miocenos de Somosaguas (Madrid, España). *Coloquios de Paleontología*, 51: 183-196.
- Molina, E. (1980) Alteración relictiva y morfogénesis del Macizo Cristalino de Toledo. *Studia Geológica Salmanticensis*, XVI: 15-25.
- Molina, E., Cantano, M., Vicente, M.A. y García Rodríguez, P. (1990) Some aspects of paleoweathering in the Iberian Hercynian Massif. *Catena*, 17: 333-346.
- Monterde Vitoria, P. (2014) Variabilidad de comunidades vegetales sobre dos suelos contrastados en el yacimiento paleontológico de Somosaguas. Trabajo Fin de Grado (Inédito), Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid, 26 pp.
- Monterde Vitoria, P., Blanco Segovia, F., De Villepreux, E., Sánchez de Dios, R. y Fesharaki, O. (2015) Comunidades vegetales como diferenciadoras de estratos fosilíferos: el ejemplo del área de Somosaguas (Madrid). En: *Current Trends in Paleontology and Evolution* (L. Domingo, M.S. Domingo, O. Fesharaki, B.A. García Yelo, A.R. Gómez Cano, V. Hernández-Ballarín, D.

Hontecillas, J.L. Cantalapiedra, P. López Guerrero, A. Oliver, J. Pelegrín, M. Pérez de los Ríos, M. Ríos, O. Sanisidro & A. Valenciano, Eds.): 191-192.

Montero Plata, L. (2012) El mundo invisible de Hayao Miyazaki. Dolmen Editorial, Madrid.

Montes, M., Beamud, B., Garcés, M. y Calvo, J.P. (2006) Magnetoestratigrafía de las Unidades Inferior e Intermedia del Mioceno de la Cuenca de Madrid. Revista de la Sociedad Geológica de España, 19 (3-4): 281-298.

Moore, D.M. y Reynolds, R.C. (1989) X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford University Press, New York, 332 pp.

Moore, D.M. y Reynolds, R.C. (1997) X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. 2nd edition, Oxford University Press, New York, 378 pp.

Moral, F. y Olías, M. (2012) Evolución del alumnado de Geología en las universidades españolas (1999-00 a 2010-11). En: Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología (A.M. Sarmiento, M. Cantano & G.R. Almodóvar, Eds.), Publicaciones de la Universidad de Huelva: 106-111.

Moral-Cardona, J.R., Sánchez Bellón, A., López-Aguayo, E. y Caballero, M.A. (1996) The analysis of quartz grain surface features as a complementary method for studying their provenance: the Guadalete River Basin (Cádiz, SW Spain). Sedimentary Geology, 106: 155-164.

Morales, J. y Nieto, M. (1997) El registro Terciario y Cuaternario de los mamíferos de España. En: Registros fósiles e historia de la Tierra (E. Aguirre, J. Morales & D. Soria, Eds.), Editorial Complutense: 297-321.

Morales, J. y Soria, D. (1990) Creodontos y Carnívoros. En: Paleontología, tomo 3, volumen 1 (B. Meléndez, Coord.), Editorial Paraninfo, Madrid: 313-354.

Morales, J., Alberdi, M.T. y Soria, D. (1982-1984) Resumen de la paleontología de macrovertebrados de las hojas del proyecto MAGNA Tajo. IG-CSIC y Compañía General de Sondeos, 17 pp.

Morales, J., Alcalá, L., Hoyos, M., Montoya, P., Nieto, M., Pérez, B. y Soria, D. (1993) El yacimiento del Aragoniense medio de La Retama (Depresión Intermedia, Provincia de Cuenca, España): significado de las faunas con *Hispanotherium*. Scripta Geologica, 103: 23-39.

Morales, J., Capitán, J., Calvo, J.P. y Sesé, C. (1992) Nuevo yacimiento de vertebrados del Mioceno superior al Sur de Madrid (Cerro Batallones, Torrejón de Velasco). Geogaceta, 12: 77-80.

Morales, J., Nieto, M., Amezua, L., Fraile, S., Gómez, E., Herráez, P., Peláez-Campomanes, P., Salesa, M.J., Sánchez, I.M. y Soria, D. (Eds.) (2000) Patrimonio paleontológico de la Comunidad de Madrid. Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid, 371 pp.

Morales, J., Pozo, M., Silva, P.G., Domingo, M.S., López-Antoñanzas, R., Álvarez Sierra, M. A., Antón, M., Martín Escorza, C., Quirarte, V., Salesa, M.J., Sánchez, I.M., Azanza, B., Calvo, J.P., Carrasco, P., García-Paredes, I., Knoll, F., Hernández Fernández, M., van den Hoek Ostende, L., Merino, L., van der Meulen, J.A., Montoya, P., Peigné, S., Peláez-Campomanes, P., Sánchez-Marco, A., Turner, A., Abella, J., Alcalde, G.M., Andrés, M., De Miguel, D., Cantalapiedra, J.L., Fraile, S., García Yelo, B.A., Gómez Cano, A.R., López Guerrero, P., Oliver Pérez A. y Siliceo, G. (2008) El sistema de yacimientos de mamíferos miocenos del

Cerro de los Batallones, Cuenca de Madrid: estado actual y perspectivas. En: *Palaeontologica Nova* (J. Esteve & G. Meléndez, Eds.), Publicaciones del Seminario de Paleontología de Zaragoza, 8: 41-117.

Morales, L., López-González, J.A., Garzón, E., Giménez, A. y Romero, E. (2011) Crecimiento de cristales de CaCO_3 , como resultado de la actividad microbiológica en suelos. *Macla*, 15: 141-142.

Morton, A.C. (1985) Heavy minerals in provenance studies. En: *Provenance of Arenites* (G.G. Zuffa, Ed.), NATO ASI Series C-148: 247-278.

Morton, A.C. (1987) Influences of provenance and diagenesis on detrital garnet suites in the Forties sandstone, Paleocene, central North Sea. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57: 1027-1032.

Morton, A.C. y Hallsworth, C.R. (1994) Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 90: 241-256.

Moss, A.J. (1972) Bed-load sediments. *Sedimentology*, 18: 159-219.

Mota, M., Nistal, M., Fesharaki, O. y González Fernández, R. (enviado) Relaciones sociales en unas excavaciones paleontológicas: valoración educativa y propuestas de mejora. *Revista de Educación*.

Muñoz-García, M.B., González-Acebrón, L., García-Frank, A., Pérez Barroso, R., Espín Forjan, B., Benito Manjón, P., de Pablo Gutiérrez, L., Gomez-Heras, M., Canales Fernández, M.L., Sarmiento Chiesa, G.N., Ureta Gil, S. y Del Moral González, B. (2015) Evaluación del aprendizaje significativo del concepto “tiempo geológico” en estudiantes con necesidades educativas especiales por discapacidad intelectual. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23(1): en prensa.

Newman, A.C.D. y Brown, G. (1987) The chemical constitution of clays. En: *Chemistry of clay minerals* (A.C.D. Newman, Ed.), Monograph 6, Mineralogical Society, London: 2-128.

Nieto, F. (1983) Las cloritas de las Cordilleras Béticas. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 249 pp.

Nixon, R.A. (1979) Differences in incongruent weathering of plagioclase and microcline cation leaching versus precipitates. *Geology*, 7: 221-224.

Nodal, M.T. y Águeda, J. (1976) Características de la sedimentación Cretácico-terciaria en el borde septentrional de la Cuenca del Tajo. *Estudios Geológicos*, 32: 115-120.

Norrish, K. y Pickering, J.G. (1983) Clay Minerals. En: *Soils: an Australian viewpoint*. CSIRO-Melbourne, Academic Press-London: 281-308.

O'Brien, N.R. (1970) The fabric of shale. An electron microscope study. *Sedimentology*, 15: 229-246.

O'Brien, N.R. (1987) The effect of bioturbation on the fabric of shale. *Journal of sedimentary petrology*, 57(3): 449-455.

Oliver, A. (2015) Evolución del género *Megacricetodon* del Aragoniense y Vallesiense (Mioceno) de la Península Ibérica. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 316 pp.

- Olivet, J.L. (1996) La cinématique de la plaque Ibérique. Bulletin des Centres de Recherche Exploration-Production Elf-Aquitaine, 20: 131-195.
- Oliveros Martín-Varés, L., García García, M., Ruiz de Miguel, C. y Valverde Macías, A. (2003) Innovación en la orientación universitaria. Una experiencia: Red de Estudiantes Mentores de la Universidad Complutense (REMUC). Contextos Educativos, 6: 331-354.
- OMS. (1980) Clasificación Internacional del Funcionamiento, las Discapacidades y la Salud (CIDDIM). Ginebra, Organización Mundial de la Salud.
- Ordóñez, S., Brell, J.M, Calvo, J.P y López Aguayo, F. (1977) Contribución al conocimiento mineralógico del borde SW de la Cuenca del Tajo (Toledo). Estudios Geológicos, 33: 467-472.
- Ordóñez, S., Calvo, J. P., García del Cura, M.A., Alonso-Zarza, A.M. y Hoyos, M. (1991) Sedimentology of sodium sulphate deposits and special clays from the Tertiary Madrid Basin (Spain). Special Publication of the International Association of Sedimentology, 13: 39-55.
- Ordóñez, S., Fontes, Ch. y García del Cura, M.A. (1983) Contribución al conocimiento de la sedimentogénesis evapoprítica de las cuencas neógenas de Madrid y del Duero en base a los datos de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$). En: X congreso nacional de sedimentología. Menorca, comunicaciones: 49-52.
- Ordóñez, S., Menduiña, J. y García del Cura, M.A. (1982) El sulfato sódico natural en España. Tecniterrae, 300: 16-32.
- Ortí, F. (1979) Petrogénesis del yacimiento de sales sódicas de Villarubia de Santiago, Toledo (Terciario de la Cuenca del Tajo). Boletín Geológico y Minero, 90(4): 347-373.
- Pacquet, H. (1970) Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens tropicaux à saisons contrastées. Mémoires du Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine, 30, 212 pp.
- Palacios, S.L. (2006) Einstein vs Predator. Robin Book.
- Palomares, M. (1988) Análisis de las arenas actuales derivadas de rocas metamórficas del Sistema Central: Aplicación a los estudios de procedencia. Tesis de Licenciatura (Inédita). Universidad Complutense de Madrid, 191 pp.
- Palomares, M. y Arribas, J. (1993) Modern stream sands from compound crystalline sources: Composition and sand generation index. En: Processes controlling the composition of clastic sediments (M.J. Johnsson & A. Basu, Eds.), Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 284: 313-322.
- Palomares, M., Tortosa, A. y Arribas, J. (1989) Estudio de la fracción pesada de arenas actuales derivadas del Sistema Central y su aplicación a los estudios de procedencia. Boletín Geológico y Minero, 100: 695-705.
- Palomares, M., Tortosa, A. y Arribas, J. (1990) Caracterización clastométrica de los depósitos detríticos de cabecera de arroyos en el Sistema Central: influencia de la litología del área fuente. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, 85 (1-4): 5-21.
- Pardo, R., Acuña, U., Aguirre de Cárcer, A., Armentia, J., Catalán, G., De Pablo, F., Semir, V., De Delibes, M., Echenique, P.M., Estruch, J., Molina, T., Núñez Centella, R., Ruiz de Elvira, M., Sols, F., Tellería, J.L. y Úbeda, J. (2005) Ciencia y Sociedad. En: Acción CRECE

(Comisiones de Reflexión y Estudio de la Ciencia en España), Confederación de Sociedades Científicas de España, COSCE, Barcelona: 123-164.

Parfenoff, A., Pomerol, C. y Tourenq, J. (1970) Les minéraux en grains. Méthodes d'étude et détermination (Masson et Cie., Eds.), 578 pp.

Paschoale, C. (1984) Alice no país da Geologia e o ela encontrou lá. En: Sociedade Brasileira de Geologia, Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, 5: 242-249.

Pascual, R. y Ortiz-Jaureguizar, E. (1990) Evolving climates and mammal faunas in Cenozoic South America. *Journal of Human Evolution*, 19: 23–60.

Pascual Trillo, J. (1998) Por unas ciencias ambientales y unas ciencias de la Tierra. Reflexiones críticas y propuestas para un debate. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2): 341-351.

Passega, R. (1957) Texture as characteristic of clastic deposition. *A.A.P.G. Bulletin*, 41: 1952-1984.

Passega, R. (1964) Grain Size representation by CM patterns as a geological tool. *Journal of Sedimentary Petrology*, 34(4): 830-847.

Pedrinaci, E. (2012) Alfabetización en Ciencias de la Tierra, una propuesta necesaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(2): 133-140.

Peláez-Campomanes, P., Azanza, B., Calvo, J.P., Daams, R., Herráez, E., Morales, J., Nieto, M. y Soria, D. (2000) Bioestratigrafía de las faunas de mamíferos del Mioceno de Madrid: Datación de las unidades estratigráficas. En: *Patrimonio Paleontológico de la Comunidad de Madrid* (J. Morales, Ed.). Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid: 103-109.

Peláez-Campomanes, P., Morales, J., Álvarez Sierra, M.A., Azanza, B., Fraile, S., García Paredes, I., Hernández Fernández, M., Herráez, E., Nieto, M., Pérez, B., Quiralte, V., Salesa, M.J., Sánchez, I.M. y Soria, D. (2003) Updated biochronology of the Miocene mammals fauna from the Madrid basin (Spain). *Deinsea*, 10: 431-441.

Perales, R., Serrano, H., García Yelo, B.A. y Hernández Fernández, M. (2009) Inferencias paleoambientales del Mioceno medio de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid) basadas en la estructura de tamaños corporales de su fauna de mamíferos. *Paleolusitana*, 1: 317-325.

Pérez Campillo, Y. y Chamizo, J. (2011) Los museos: un instrumento para el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP). *Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(3): 312-322.

Pérez del Villar, L. (1989) Caracterización mineralógica y geoquímica de algunas muestras de bentonita procedentes de la Cuenca terciaria de Madrid (Yuncos, Toledo). CIEMAT, Madrid, 29 pp.

Pérez-García, A. (2013) Turtles from the middle Miocene (MN5) of Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid, Spain). *Spanish Journal of Palaeontology*, 28(1): 55-60.

Pérez González, S., Cantalapiedra, J.L., Alcalde, G.M. y Hernández Fernández, M. (2009) Análisis de los patrones de coloración en bóvidos (Ruminantia, Artiodactyla): aplicaciones en la paleorreconstrucción de *Tethytragus* Azanza & Morales, 1994. *Paleolusitana*, 1: 373-382.

Pérez González, A. (1971) Tertiary and Quaternary of the Plateau of New Castilla. Guide book, Tenth International Field Institute (Spain), American Geological Institute: 225-241.

- Pérez González, A. (1979) El límite Plioceno-Pleistoceno en la Submeseta meridional en base a los datos geomorfológicos y estratigráficos. *Trabajos Neógeno-Cuaternario*. CSIC, 9: 19-32.
- Pérez Jiménez, J.L. (2010) Sedimentología, silicificaciones y otros procesos diagenéticos en las Unidades Intermedia y Superior del Mioceno de la Cuenca de Madrid. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 325 pp.
- Pérez Mateos, J. (1965) Análisis mineralógico de arenas, métodos de estudio. Patronato "Alonso de Herrera". *Manuales de ciencia actual*, Nº1, CSIC, 267 pp.
- Pérez Mateos, J. y Vaudour, J. (1971) Estudio mineralógico y geomorfológico de las regiones arenosas al Sur de Madrid. *Estudios Geológicos*, XVIII: 201-208.
- Pérez Mazarío, F., Hernando, S. y Rincón, R. (1992) Evolución en dos etapas de las cuencas pérmicas del borde Noreste del Sistema Central español. Análisis sedimentológico y procedencia de materiales. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 16: 91-114.
- Pérez-Monserrat, E.M., Fort González, R., Álvarez de Buergo, M. y Varas, M. J. (2008) Rutas Geomonumentales: la geología para la enseñanza y difusión del patrimonio arquitectónico. *Tierra y Tecnología*, 33: 39-46.
- Pettijohn, F.J. (1949) *Sedimentary rocks*. Harper, New York, 526 pp.
- Pettijohn, F.J. (1957) *Sedimentary rocks*. 2nd Edition, Harper, New York, 718 pp.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. y Siever, R. (1972) *Sand and Sandstones*. Springer-Verlag, New York, 158 pp.
- Petit Pérez, M.F. y Solbes Matarredona, J. (2012) La ciencia ficción y la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(2): 69-86.
- Pickford, M. y Morales, J. (1994) Biostratigraphy and palaeobiogeography of East Africa and the Iberian Peninsula. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 112: 297-322.
- Pina, M., Pérez de los Ríos, M. y Hernández Fernández, M. (2008) Paleocorología de los mamíferos del Mioceno medio de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). En: *Palaeontologica Nova* (J. Esteve, y G. Meléndez, Eds.), Publicaciones del Seminario de Paleontología de Zaragoza, 8: 345-356.
- Polonio, I. y López-Martínez, N. (2000) Análisis tafonómico de los yacimientos de Somosaguas (Mioceno Medio, Madrid). *Coloquios de Paleontología*, 51: 235-266.
- Portero, J.M. y Aznar, J.M. (1984) Evolución morfotectónica y sedimentación terciarias en el Sistema Central y cuencas limítrofes (Duero y Tajo). *I Congreso Español de Geología*, tomo III: 253-263.
- Portero, J.M. y Olive, A. (1983) El Terciario del borde meridional del Guadarrama y Somosierra. En: *Libro Jubilar J. M. Ríos, Geología de España*, IGME, Madrid, II: 527-534.
- Portero, J.M. y Pérez González, A. (1990) Hoja Geológica nº 560 (Alcalá de Henares). Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, 2ª serie (MAGNA). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Portero, J.M., Aguilar, M.J. y Fuster, J.M. (1990) Hoja geológica a escala 1:50.000, Majadahonda: nº 558. Instituto Geológico Minero de España. Ministerio de Industria, Madrid.

- Powers, M.C. (1953) A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23: 117-119.
- Poza, B., Suñer, M., Santos-Cubedo, A. y Galobart, A. (2008) Los dinosaurios de Cataluña y Valencia: 20 años de investigación por divulgar un proyecto de divulgación de la Paleontología. En: *Palaeontologica Nova* (J. Esteve & G. Meléndez, Eds.), Publicaciones del Seminario de Paleontología de Zaragoza, 8: 369-380.
- Poza, B., Santos-Cubedo, A., Suñer, M. y De Santisteban, C. (2011) Divulgación del patrimonio paleontológico en la comarca de Els Ports (Castellón). En: *Viajando a Mundos Pretéritos* (A. Pérez-García, F. Gascó, J.M. Gasulla & F. Escaso, Eds.), Ayuntamiento de Morella, Castellón: 323-330.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1998) Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico. Ediciones Morata, Madrid, 331 pp.
- Pozo Martín, E., Martín Rubí, J.A y Pozo Rodríguez, M. (2011a) Estudio mineralógico y químico de arcillas comunes españolas para su empleo en peloterapia. *Boletín Geológico y Minero*, 122: 389-400.
- Pozo Martín, E., Martín Rubí, J.A y Pozo Rodríguez, M. (2011b) Caracterización de bentonitas, arcillas fibrosas y arcillas caoliníferas para su empleo en peloterapia. *Boletín Geológico y Minero*, 122: 401-412.
- Pozo Rodríguez, M. (2003) Influencia de los minerales de la arcilla en el desarrollo de facies biosilíceas en el Mioceno de la cuenca de Madrid. En: XVIII Reunión Científica de la Sociedad Española de Arcillas. Resumen de conferencias y comunicaciones: 36-38.
- Pozo Rodríguez, M. y López, M.J. (2004) Facies biosilíceas en el Neógeno de la Cuenca de Madrid: Origen e implicaciones sedimentológicas. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 17(3-4): 229-248.
- Pozo Rodríguez, M., Calvo, J.P., Casas, J. y Medina, J.A. (2003) Sepiolite paleosoils, paleovertisols and lacustrine deposits - an integrated approach to the formation of mammal traps, Cerro de Batallones, Madrid Basin, Spain. En: 22nd IAS Meeting of Sedimentology-Opatija. Libro de resúmenes: 162-162.
- Pozo Rodríguez, M., Calvo, J.P., Morales, J., Silva, P.G., Peláez-Campomanes, P. y Nieto, M. (2004) Geología del sistema de yacimientos de mamíferos miocenos del Cerro de los Batallones, Cuenca de Madrid. *Geogaceta*, 35: 143-146.
- Pozo Rodríguez, M., Calvo, J.P., Moreno, A. y Medina, J.A. (2008) Caracterización mineralógica y textural de litofacies clásticas en el Cerro de los Batallones (Cuenca de Madrid). *Macla*, 9: 195-196.
- Pozo Rodríguez, M., Calvo, J.P., Pozo-Martín, E. y Moreno, A. (2014) Genetic constraints on crystallinity, thermal behaviour and surface area of sepiolite from the Cerro de los Batallones deposit (Madrid Basin, Spain). *Applied Clay Science*, 92: 30-45.
- Pozo Rodríguez, M., Casas, J., Martín de Vidales, J.L., Medina, J.A. y Martín Rubí, J.A. (1999a) Características texturales y composicionales en depósitos de arcillas magnésicas de la Cuenca de Madrid. I) Kerolitas (sector de Esquivias y Pinto). *Boletín Geológico y Minero*, 110(1): 77-102.

- Pozo Rodríguez, M., Casas, J., Martín de Vidales, J.L., Medina, J.A. y Martín Rubí, J.A. (1999b) Características texturales y composicionales en depósitos de arcillas magnéticas de la Cuenca de Madrid. II) Bentonitas (sector Cabañas de la Sagra-Yuncillos). *Boletín Geológico y Minero*, 110(3): 273-296.
- Pozo Rodríguez, M., Casas, J., Medina, J.A. y Calvo J.P. (2007) Estudio mineralógico del tránsito de facies sepiolíticas a carbonáticas en el Cerro de los Batallones (cuenca de Madrid). *Macla*, 7: 97.
- Pozo Rodríguez, M., Casas, J., Medina, J.A. y Martín Rubí, J.A. (2001) Características texturales y composicionales en depósitos de arcillas magnéticas de la cuenca de Madrid. III) Bentonitas (Sector Villaluenga-Magán). *Boletín Geológico y Minero*, 112(4): 107-124.
- Pozo Rodríguez, M., Casas, J., Moreno, A. y Medina, J.A. (1992) Magnesium clay paleosoils from Madrid Neogene Basin (Spain). *Mineralogica et Petrographica Acta*, 35-A: 235-244.
- Pozo Rodríguez, M., Cuevas, J., Moreno, A., Redondo, R. y Leguey, S. (1991) Caracterización de arcillas magnéticas bentoníticas en la zona de Yuncos (Toledo). *Boletín Geológico y Minero*, 102: 893-904.
- Pozo Rodríguez, M., Leguey, S. y Medina, J.A. (1985) Mineralogénesis de paligorskita en la zona central de la cuenca de Madrid. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 8: 247-255.
- Pozo Rodríguez, M., Martín de Vidales, J.L., Vigil, R., Medina, J.A. y Leguey, S. (1986) Neoformación de esmectitas magnéticas relacionadas con procesos de paleovertisolización en sedimentos fluvio-lacustres de la “Unidad Intermedia del Mioceno” en la Cuenca de Madrid. *Acta Geológica Hispánica*, 21-22: 63-71.
- Pozo Rodríguez, M., Moreno, A., Casas, J. y Martín Rubí, J.A. (1996) Estudio geoquímico de litofacies con arcillas magnéticas en depósitos lacustres-palustres de la Cuenca de Madrid. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 19: 71-83.
- Pozo Rodríguez, M., Moreno, A. y Martín Rubi, J.A. (1999c) Distribución de Li y F en depósitos de kerolitas y esmectitas magnéticas de la cuenca de Madrid. Implicaciones genéticas. *Boletín Geológico y Minero*, 110: 197-214.
- Prado, C. (1864) Descripción física y geológica de la provincia de Madrid. Junta General de Estadística, Madrid, 219 pp.
- Proust, D. y Velde, B. (1978) Beidellite crystallization from plagioclase and amphibole precursors: local and long-range equilibrium during weathering. *Clay Minerals*, 13: 199-209.
- Pupin, J.P. (1976) Signification des caracteres morphologiques du zircon commun des roches en pétrologie. Base de la méthode typologique-Applications. Tesis Doctoral, Universidad de Niza, 394 pp.
- Push, R. (1973) Influence of salinity and organic matter on the formation of clay microstructure. *Proceedings of the International Symposium on Soil Structures*, Gotenburg, Sweden, 161-175.
- Querol, R. (1989) Geología del subsuelo de la Cuenca del Tajo. E.T.S.I. Minas de Madrid (Dpto. de Ingeniería Geológica), 48 pp.

- Racero, A. (1988) Consideraciones a cerca de la evolución geológica del margen NW de la Cuenca del Tajo durante el Terciario a partir de los datos de subsuelo. II Congreso Geológico de España, simposios: 213-222.
- Regueiro, M., Lombardero, M. y Gonzalo Corral, F. (2002) Áridos, piedra natural y minerales industriales. En: Actas del XI Congreso Internacional de Minería y Metalurgia, Zaragoza, España.
- Restrepo Martínez, C. (2006) Estrategia de divulgación del patrimonio geológico catalán. Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 26: 203-209.
- Retallack, G.J. (1992) Middle Miocene fossil plants from Fort Tenan (Kenya) and evolution of African grasslands. *Paleobiology*, 18: 383-400.
- Rey-Samper, J.J., Ramiro Camacho, A., Gómez Cano, A.R. y Hernández Fernández, M. (2013) Efecto del cambio climático aragonense en la estructura de edades de las comunidades de roedores de la cuenca de Madrid. En: *Trending Topics in Palaeontology* (P. Navas-Parejo, C. Martínez-Pérez & S. Pla-Pueyo, Eds.), Atarfe, Granada: 92-94.
- Riba, O. (1957) Terranes du Manzanares et du Jarama aux environs de Madrid. INQUA A, V Congreso Internacional, Liveret-guide: 5-55.
- Righi, D. y Meunier, A. (1991) Characterization and genetic interpretation of clays in acid brown soil (Dystrochrept) developed in a granitic saprolite. *Clays and Clay Minerals*, 39 : 519-530.
- Righi, D., Terribile, F. y Petit, S. (1995) Low-charge to high-charge beidellite in a vertisol from south Italy. *Clays and Clay Minerals*, 43(4): 495-502.
- Righi, D., Terribile, F. y Petit, S. (1998) Pedogenic formation of high-charge beidellite in a vertisol of Sardinia (Italy). *Clays and Clay Minerals*, 46(2): 167-177.
- Rivas Martínez, S. (1982) Mapa de las series de vegetación de Madrid. Diputación de Madrid. Servicio del Medio Ambiente y contra incendios. Madrid.
- Rodas, M., Luque, F.J., Mas, R. y Garzón, M.G. (1994) Calcretes, palycrates and silcretes in the Paleogene detrital sediments of the Duero and Tajo Basins, Central Spain. *Clay Minerals*, 29: 273-285.
- Rodrigo, A. (2013) Enseñar a mirar: la función social de los museos de historia natural. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Museos y Colecciones de Historia Natural. Investigación, Educación y Difusión*, 11: 99-113.
- Rodríguez Aranda, J.P., Calvo, J.P. y Ordóñez, S. (1991) Transición de abanicos aluviales a evaporitas en el Mioceno del borde oriental de la cuenca de Madrid (sector Barajas de Melo-Illana). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 4 (1-2): 33-50.
- Rodríguez Aranda, J.P., Calvo, J.P. y Sanz-Montero, M.E. (2002) Lower Miocene gypsum paleokarst in the Madrid Basin (central Spain): dissolution diagenesis, morphological relics and karst end-products. *Sedimentology*, 49: 1385-1400.
- Rodríguez Pérez, E., Romero-Nieto, D. y Fesharaki, O. (2014a) La imagen del geólogo en el cine: científicos locos vs atractivos aventureros. *Tierra & Tecnología*, 45: 51-60.

- Rodríguez Pérez, E., Romero-Nieto, D. y Fesharaki, O. (2014b) Gymkhana geourbana como método didáctico y de motivación de estudiantes de Geología. *Reduca (Geología)*, 6(1): 1-25.
- Rodríguez Pérez, E., Romero-Nieto, D. y Fesharaki, O. (2015). Evaluación de competencias previas y adquiridas tras la realización de una gymkhana urbana en Madrid por alumnos de Grado en Geología. En: *Current Trends in Paleontology and Evolution* (L. Domingo, M.S. Domingo, O. Fesharaki, B.A. García Yelo, A.R. Gómez Cano, V. Hernández-Ballarín, D. Hontecillas, J.L. Cantalapiedra, P. López Guerrero, A. Oliver, J. Pelegrín, M. Pérez de los Ríos, M. Ríos, O. Sanisidro & A. Valenciano, Eds.): 219-228. ISBN: 978-84-606-7282-1.
- Rogers, R.R. (2005) Fine-gravel debris flows and extraordinary vertebrate burials in the Late Cretaceous of Madagascar. *Geology*, 33: 297-300.
- Romero-Nieto, D., García Yelo, B.A. y Fesharaki, O. (2013) Paleopeli: Un viaje por la historia de la vida a través de películas paleontológicas. En: *Trending Topics in Palaeontology* (P. Navas-Parejo, C. Martínez-Pérez & S. Pla-Pueyo, Eds.), Atarfe, Granada: 101-103.
- Romero-Nieto, D., Fesharaki, O. y García Yelo, B.A. (2014a) Películas de trasfondo paleontológico: Análisis científico y propuestas didácticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22(2): 167-176.
- Romero-Nieto, D., García Yelo, B.A. y Fesharaki, O. (2014b) Paleontología y enseñanza obligatoria. Fuentes y grado de conocimiento. En: *New Insights on Ancient Life* (G. Arreguín-Rodríguez, J. Colmenar, E. Díaz-Berenguer, J. Galán, A. Legarda-Lisarrí, J. Parrilla-Bel, E. Puértolas-Pascual & R. Silva-Casal, Eds.), Boltaña, Huesca: 211-214.
- Royo Gómez, J. (1928) El Terciario continental de la Cuenca alta del Tajo. Datos para el estudio de la geología de la provincia de Madrid. I.G.M.E., Hoja nº 560, Alcalá de Henares, 17-89.
- Royo Gómez, J. y Menéndez Puget, L. (1929) Mapa y memoria explicativa de la hoja nº 559, Madrid. Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. I.G.M.E.: 131 pp.
- Ruiz, E. (2001) Evaluación de la capacidad intelectual en personas con Síndrome de Down. *Revista Síndrome Down*, 21: 134-149.
- Ruiz-Zapata, M.B., Carrasco, R.M., Gil-García, M.J., Pedraza, J., Razola, L., Domínguez-Villar, D. y Gallardo, J.L. (2011) Dinámica de la vegetación durante el Holoceno en la Sierra de Gredos (Sistema Central Español). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, 105: 109-123.
- Sáez, A., Inglés, M., Cabrera, L. y De las Heras, A. (2003) Tectonic-palaeoenvironmental forcing of clay-mineral assemblages in nonmarine settings: the Oligocene-Miocene As Pontes basin (Spain). *Sedimentary Geology*, 159: 305-324.
- Sahai, N., Schoonen, M.A. y Skinner, H.C.W. (2006) The emergent field of Medical Mineralogy and Geochemistry. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 64: 1-4.
- Sala-Burgos, N. y Gil-Pita, R. (2006) Automatic microfossil detection in Somosaguas Sur paleontologic site (Pozuelo de Alarcón, Madrid, Spain) using multilayer perceptrons. *Transactions on Signal Processing*, 2: 218-223.
- Sala-Burgos, N., Cuevas-González, J. y López-Martínez, N. (2007) Estudio paleopatológico de una hemimandíbula de *Tethytragus* (Artiodactyla, Mammalia) del Mioceno medio de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Coloquios de Paleontología*, 57: 7-14.

- Salazar Rincón, A. (2011) Los Geolodías. Tierra & Tecnología, 39: 56-59.
- Salesa, M.J. y Morales, J. (2000) La fauna de carnívoros del yacimiento Aragoniense de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). Coloquios de Paleontología, 51: 213-222.
- Salesa, M.J. y Sánchez, I.M. (2000) Estudio de los restos de *Anchitherium* Meyer, 1834 (Equidae; Perissodactyla) del yacimiento de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). Coloquios de Paleontología, 51: 197-212.
- Sánchez, I.M. (2000) Rumiantes (Mammalia, Artiodactyla) del yacimiento de Somosaguas (Aragoniense medio, Madrid, España). Coloquios de Paleontología, 51: 223-234.
- Sánchez, I.M., Salesa, M.J. y Morales, J. (1998) Revisión sistemática del género *Anchitherium* Meyer 1834 (Equidae, Perissodactyla) en España. Estudios Geológicos, 54 (1-2): 39-63.
- Sánchez-Román, M., Romanek, Ch.S., Fernández-Remolar, D.C., Sánchez-Navas, A., McKenzie, J.A., Amils Pibernat, R. y Vasconcelos, C. (2011) Aerobic biomineralization of Mg-rich carbonates: Implications for natural environments. Chemical Geology, 281: 143-150.
- Sanisidro, O., Micklich, N. y Sandrock, O. (2015) A new window to an old world: reconstructing the Middle Eocene of Messel for Hessisches Landesmuseum Darmstadt. En: Current Trends in Paleontology and Evolution (L. Domingo, M.S. Domingo, O. Fesharaki, B.A. García Yelo, A.R. Gómez Cano, V. Hernández-Ballarín, D. Hontecillas, J.L. Cantalapiedra, P. López Guerrero, A. Oliver, J. Pelegrín, M. Pérez de los Ríos, M. Ríos, O. Sanisidro & A. Valenciano, Eds.): 235-238.
- Santos-Cubedo, A. y Furió, M. (2008) Paleontología y medios de comunicación. En: Palaeontologica Nova (J. Esteve & G. Meléndez, Eds.), Publicaciones del Seminario de Paleontología de Zaragoza, 8: 389-390.
- Santos García, J.A. (1987) Estudio de rocas detríticas en la U.T.S.-3 del Terciario continental de la cuenca del Júcar (Provincia de Albacete). Estudios Geológicos, 43: 185-195.
- Sanz, J.L. y Santos-Cubedo, A. (2007) Cuenca, un lugar al sur de Río Grande (30 años después de El Valle de Gwangi). En: Cantera Paleontológica (O. Cambra-Moo, C. Martínez-Pérez, B. Chamero, F. Escaso, S. de Esteban & J. Marugán, Eds.), Diputación Provincial de Cuenca: 317-325.
- Sanz, J.L. (2009) Los dinosaurios, un mito cultural. Revista Digital Universitaria, 10(2): 2-9.
- Sanz de Galdeano, C. (1996) Tertiary tectonic framework of the Iberian Peninsula. En: Tertiary basins of Spain (P.F. Friend & C.J. Dabrio, Eds.), Cambridge University Press: 9-14.
- Sanz-Montero, M.E., Alonso-Zarza, A.M. y Calvo, J.P. (1995) Carbonate pond deposits related to semi-arid alluvial Systems: examples from the Tertiary of Madrid Basin, Spain. Sedimentology, 42: 437-452.
- Sanz-Montero, M.E. (1996) Sedimentología de la formaciones Neógenas del Sur de la cuenca de Madrid. CEDEX, Madrid.
- Sanz-Montero, M.E. y Rodríguez-Aranda, J.P. (2012) Magnesite formation by microbial activity: Evidence from a Miocene hypersaline lake. Sedimentary Geology, 263-264: 6-15.
- Sanz-Montero, M.E., Rodríguez-Aranda, J.P. y García del Cura, M.A. (2009) Bioinduced precipitation of barite and celestite in dolomite microbialites: Examples from Miocene

- lacustrine sequences in the Madrid and Duero Basins, Spain. *Sedimentary Geology*, 222: 138-148.
- Schreiber, B.C. (1978) Elutriation. En: *The Encyclopedia of Sedimentology* (R.W. Fairbridge & J. Bourgeois, Eds.). Dowden, Hutchinson & Ross, USA.
- Schultz, J. (2005) *The ecozones of the World*. Springer Verlag, Berlin.
- Schultz, L.G. (1964) Cuantitativa interpretation of mineralogical composition from X-Ray and chemical data for the Pierre Shale. U.S. Geological Survey Bulletin. Professional Paper 391-c, 31 pp.
- Schultz, L.G. (1969) Lithium and potassium absorption, dehydroxylation temperature and structural water content of aluminous smectites. *Clays and Clay Minerals*, 17: 115-137.
- Sell, I., Poupeau, G., Casquet, C., Galindo, C. y González-Casado, J.M. (1995) Exhumación alpina del bloque morfotectónico Pedriza – La Cabrera (Sierra de Guadarrama, Sistema Central Español): potencialidad de la termocronometría por trazas de fisión en apatitos. *Geogaceta*, 18: 23-26.
- Sellés-Martínez, J. (2010) Ciencias de la tierra: errores habituales en las publicaciones de divulgación y medios de información, sus causas y su interés y aplicaciones en la enseñanza. Parte 1: Errores de traducción. En: XVI Simposio de Enseñanza de la Geología, Teruel: 243-250.
- Sellés-Martínez, J. (2012) ciencias de la tierra: errores habituales en las publicaciones de divulgación y medios de información, sus causas, su interés y aplicaciones en la enseñanza. Parte 2: ilustraciones erróneas. En: *Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología* (A.M. Sarmiento, M. Cantano & G.R. Almodóvar, Eds.), Publicaciones de la Universidad de Huelva: 251-256.
- Sequeiros, L. (1993) La invasión de los dinosaurios. Luces y sombras de la “dinomanía”. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1(3): 141-143.
- Sergeyev, Y.M., Osipov, V.I., Grabowska, O. y Sokolov, V.N. (1978) Types of the microstructures of clayey soils. *Proceedings of the 3rd International Congress of IAEG*, II, 1: 319-327.
- Sesé, C. (1994) Paleoclimatical interpretation of the Quaternary small mammals of Spain. *Geobios*, 27(6): 753-767.
- Sesé, C. y Jiménez Rodrigo, J.C. (2014) El Aragoniense Medio y Superior en el Suroeste de Madrid: Los nuevos yacimientos de Micromamíferos del Mioceno Medio de Villaviciosa de Odón y Leganés. *Estudios Geológicos*, 70(1): e006. <http://dx.doi.org/10.3989/egeol.41589.303>.
- Shevenell, A.E., Kennett, J.P. y Lea, D.W. (2004) Middle Miocene Southern Ocean cooling and Antarctic cryosphere expansion. *Science*, 305: 1766-1770.
- Silva, P.G. y González-Hernández, F.M. (2005) Mapa y memoria explicativa de la Hoja 582 (Getafe) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª serie). IGME. Madrid.
- Silva, P.G., Palomares, M., Rubio, F., Goy, J.L., Hoyos, M., Martín-Serrano, A., Zazo, C. y Alberdi, M.T. (1999) Geomorfología, estratigrafía, paleontología y procedencia de los depósitos arcósicos cuaternarios de la depresión Prados-Guatén (SW Madrid). *Cuaternario y Geomorfología*, 13: 79-94.

Sinclair, A.R.E. (2000) Adaptation, niche partitioning, and coexistence of African bovidae: clues to the past. En: Antelopes, deer, and relatives (E.S. Vrba & G.B. Schaller, Eds.), Yale University Press, New Haven: 247–260.

Singer, A. (1980) The palaeoclimatic interpretation of clay minerals in soils and in weathering profiles. *Earth-Science Reviews*, 15: 303-326.

Singer, A. (1984) The paleoclimatic interpretation of clay minerals in sediments- A review. *Earth-Science Reviews*, 21: 251-293.

Smith, T.G. (1986) *Industrial Light and Magic: the art of special effects*. Londres: Columbus Books.

Sobchack, V. (1996) The Fantastic. En: *The Oxford History of World Cinema*. Oxford University, New York.

Sorauf, J.E. (2005) Biomineralization. *Journal of Paleontology*, 79(2): 408-410.

Soria, M.D., Amezuza, L., Daams, R., Fraile, S., Herráez, E., Morales, J., Nieto, M., Peláez-Campomanes, P., Salesa, M.J., Sánchez, I.M. (2000) Faunas del Mioceno. En: *Patrimonio paleontológico de la Comunidad de Madrid* (J. Morales, Coord.), Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid: 111–129.

Soriano, J., De la Peña, J.A. y Marfil, R. (1981) Aplicación de la microscopía óptica y electrónica de barrido al estudio de los procesos de alteración diagenética de las rocas volcanoclásticas. *Cuadernos de Investigación M.O.P.U.*, 1, 29 pp.

Spalletti, L.A. (1980) Paleoambientes sedimentarios en secuencias silicoclásticas. *Asociación Geológica Argentina, Serie B*, Buenos Aires, 175 pp.

Srodon J. (1999) Use of clay minerals in reconstructing geological processes: recent advances and some perspectives. *Clay Minerals*, 34: 27-37.

Srodon, J. y Eberl, D.D. (1984) Illite. En: *Micas* (S.W. Bailey, Ed.), *Reviews in Mineralogy*, 13: 495-544.

Stanley, K.O. (1974) Morphology and hydraulic significance of climbing ripples with superimposed micro-ripple-drift crosslamination in lower Quaternary lake silts, Nebraska. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44(2): 472-483.

Stein, R. y Robert, C. (1986) Siliciclastic sediments at sites 588, 590, and 591; Neogene and Paleogene evolution in the Southwest Pacific and Australian climate. *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project*, 90: 1437-1455.

Suárez Barrios, M. (2010) Avances en cristalografía de filosilicatos. *Macla*, 13: 27-29.

Suttner, L.J. y Dutta, P.K. (1986) Alluvial sandstone composition and paleoclimate I: Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology*, 56: 329-345.

Suttner, L.J., Basu, A. y Mack, G.H. (1981) Climate and the origin of quartz arenites. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 1235-1246.

Talvenheimo, G. y White, J.L. (1952) Quantitative analysis of clay minerals with the X-Ray spectrometer. *Analytical Chemistry*, 24: 1784-1789.

- Tardy, Y. (1969) Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Mémoires du Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine (France), 31, 199 pp.
- Tardy, Y. (1997) Petrology of laterites and tropical soils. A.A. Balkema Publishers. Rotterdam.
- Tejero, R. y Ruiz, J. (2002) Thermal and mechanical structure of the central Iberian Peninsula lithosphere. Tectonophysics, 350: 49-62.
- Thiry, M. (2000) Palaeoclimatic interpretation of clay minerals in marine deposits: an outlook from the continental origin. Earth-Science Reviews, 49: 201-221.
- Thomson, A. (1959) Pressure solution and porosity, in silica sediments: SEPM. Special Publication, 7: 92-110.
- Thomson, G.R., Fields, R.W. y Alt, D. (1982) Land-based evidence for Tertiary climatic variations: Northern Rockies. Geology, 10: 413-417.
- Tillman, R.W. y Almon, W.R. (1979) Diagenesis of Frontier Formation offshore bar sandstones, Spearhead Ranch Field, Wyoming. En: Aspects of diagenesis (P.A. Scholle & P.R. Schluger, Eds.), SEPM. Special Publication, 26: 337-378.
- Toharia, M. (2004) La ciencia también es cultura. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 12(1): 20-23.
- Tomita, K. (1970) Syntheses of montmorillonite and vermiculite-like minerals from sericite and pyrophyllite. Journal of Japanese Association of Mineralogy, Petrology and Economic Geology, 63: 109-121.
- Torices, A., Bolea, B. y Cuevas-González, J. (2004) Paleontología Social. II Encuentro de Jóvenes Investigadores en Paleontología, libro de resúmenes: 46- 47.
- Torres, T., Junco, F., Zapata, J.L. y Plaza, J.M. (1984) Similitud de procesos sedimentarios del Neógeno de la Cuenca del Tajo y de la Depresión Intermedia. I Congreso Español de Geología (Segovia), 1: 285-300.
- Torres, T., Maldonado, A., Querol, R. y Zamora, I. (1995) Evolución en el subsuelo de los sistemas de abanicos aluviales del Mioceno de la cuenca de Madrid (España). Geogaceta, 18: 56-58.
- Torroba, J., Gómez de la Peña, L., Gómez Cano, A.R., López Guerrero, P. y Hernández Fernández, M. (2010) Estudio de los patrones de mortandad de *Democricetodon larteti* (Schaub, 1925) en el yacimiento mioceno de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). Cidaris, 30: 325-328.
- Tortosa, A. (1988) Análisis de las arenas actuales derivadas de rocas plutónicas del Sistema Central: Aplicación a los estudios de procedencia. Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense de Madrid, 125 pp.
- Tortosa, A., Arribas, J., Garzón, G., Fernández, P. y Palomares, M. (1997) Análisis petrológico de depósitos de terrazas aplicado al estudio de los procesos de captura en los ríos Adaja, Voltoya y Eresma (Provincias de Segovia y Valladolid). Revista de la Sociedad Geológica de España, 10: 131-145.

- Tortosa, A., Palomares, M. y Arribas, J. (1988) Tipologías de cuarzo como indicadores de la procedencia en areniscas: excepciones al método de Basu et al. (1975). *Estudios Geológicos*, 44: 385-390.
- Tortosa, A., Palomares, M. y Arribas, J. (1989) Caracterización composicional de los depósitos arenosos actuales generados en el Sistema Central. *Estudios Geológicos*, 45: 205-213.
- Tortosa, A., Palomares, M. y Arribas, J. (1991) Quartz grain types in Holocene deposits from the Spanish Central System: some problems in provenance análisis. En: *Developments in Sedimentary Provenance Studies* (A.C. Morton, S.P. Todd & P.D.W. Haughton, Eds.), Geological Society Special Publication, 57: 47-54.
- Toumey, C.P. (1992) The moral character of mad scientist: a cultural critique of science. *Science, Technology and Human Values*, 17(4): 411-437.
- Tourtelot, H.A. (1968) Hydraulic equivalence of grains of quartz and heavier minerals, and implications for the study of placers. Geological Survey professional paper, 594F, 13 pp.
- Tsige, M. (1999) Microfábrica y mineralogía de las arcillas azules del Guadalquivir: influencia en su comportamiento geotécnico. Monografía 67, Ministerio de Fomento, CEDEX, 294 pp.
- Tsuzuki, Y. y Kawabe, I. (1983) Polymorphic transformations of kaolin minerals in aqueous solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47: 59-66.
- Vadour, J. (1974) Recherches sur la terra-rossa de la Alcarria, (Nouvelle Castille). *Memoires et Documents*, 15: 49-69.
- Vakalas, I., Ananiadis, G., Kontopoulos, N. y Zelilidis, A. (2004) Grain-size statistical parameters and palaeoflow velocity measurements of the Tertiary Pindos foreland basin turbidites. *Geological Society of Greece Bulletin*, 36: 717-724.
- Van Dam, J.A. y Weltje, G.J. (1999) Reconstruction of the Late Miocene climate of Spain using rodent palaeocommunity successions: an application of end-member modeling. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 151: 267-305.
- Van der Made, J. y Salesa, M.J. (2004) Early remains of the pig *Conohyus simorreensis* from the Middle Aragonian of Somosaguas near Madrid –its dispersal into Europe and evolution. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 233: 153-168.
- Van der Meulen, A.J. y Daams, R. (1992) Evolution of early-middle Miocene rodent faunas in relation to long-term palaeoenvironmental changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 93: 227-253.
- Van der Meulen, A.J., García-Paredes, I., Álvarez-Sierra, M.A., Van den Hoek Ostende, L.W., Hordijk, K., Oliver, A. y Peláez-Campomanes, P. (2012) Updated Aragonian biostratigraphy: Small Mammal distribution and its implications for the Miocene European Chronology. *Geologica Acta*, 10(2): 159-179.
- Van Olphen, H. (1977) An introduction to clay colloid chemistry. For clay technologists, geologists and soil scientists. 2nd edition, John Wiley, New York, 318 pp.
- Vasconcelos, C., Barbosa, J., Oliveira, A., Araújo, A., Fernandes, A., Azevedo, A., Marques, C., Reis, D., Teixeira, D., Campos, J., Mota, M., Martins, R., Braz, D., Canário, R. y Roxo, A. (2012) Identificar minerales utilizando los sentidos. En: *Comunicaciones del XVII Simposio*

- sobre Enseñanza de la Geología (A.M. Sarmiento, M. Cantano & G.R. Almodóvar, Eds.), Publicaciones de la Universidad de Huelva: 310-313.
- Veblen, D.R., Gutrie, G.D. Jr., Livi, K.J.T. y Reynolds, R.C. Jr. (1990) High resolution transmission electron microscopy and electron diffraction of mixed layer illite/smectite. Experimental results. *Clays and Clay Minerals*, 38: 1-13.
- Vegas, R. y Banda, S. (1982) Tectonic framework and Alpine evolution of the Iberian Peninsula. *Earth Evolution Sciences*, 4: 320-343.
- Vegas, R., Vázquez, J.T., Suriñach, E. y Marcos, A. (1990) Model of distributed deformation, block rotations and crustal thickening for the formation of the Spanish Central System. *Tectonophysics*, 184: 367-378.
- Velde, B. (1977) *Clay and clay minerals in natural and synthetic systems*. Elsevier, Amsterdam.
- Velde, B. (2001) Clay minerals in the agricultural horizon of loams and silt loams in the central United States. *Clay Minerals*, 36: 277-294.
- Viard, J.P. y Breyer, J.A. (1979) Description and hydraulic interpretation of grain size accumulative curves from the Platte River system. *Sedimentology*, 26: 427-439.
- Vicente, M.A., Elsass, F., Molina, E y Robert, M. (1997) Palaeoweathering in slates from the Iberian Hercynian Massif (Spain): investigation by TEM of clay mineral signatures. *Clay Minerals*, 32: 435-451.
- Vicente, M.A., Molina, E. y Espejo, R. (1991) Clays in paleoweathering processes: study of a typical weathering profile in the Hercynian basement in the Montes de Toledo (Spain). *Clay Minerals*, 26: 81-90.
- Vidal, D. y De Miguel, C. (2015) The scientific relevance of paleoimagery: popularizing and generating hypothesis on primeval worlds. En: *Current Trends in Paleontology and Evolution* (L. Domingo, M.S. Domingo, O. Fesharaki, B.A. García Yelo, A.R. Gómez Cano, V. Hernández-Ballarín, D. Hontecillas, J.L. Cantalapiedra, P. López Guerrero, A. Oliver, J. Pelegrín, M. Pérez de los Ríos, M. Ríos, O. Sanisidro & A. Valenciano, Eds.): 253-254.
- Vilas, L. y Pérez González, A. (1971) Contribución al conocimiento de las series continentales de la mesa manchega (Cuenca). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 69: 103-114.
- Villar, M.V., Pérez del Villar, L., Martín, P.L., Pelayo, M., Fernández, A.M., Garralón, A., Cuevas, J., Leguey, S., Caballero, E., Huertas, F.J., Jiménez de Cisneros, C., Linares, J., Reyes, E., Delgado, A., Fernández-Soler, J.M. y Astudillo, J. (2006) The study of spanish clays for their use as sealing materials in nuclear waste repositories: 20 years of progress. *Journal of Iberian Geology*, 32(1): 15-36.
- Villaseca, C. y Barbero, L. (1994) Chemical variability of Al-Ti-Fe-Mg minerals in peraluminous granitoid rocks from central Spain. *European Journal of Mineralogy*, 6: 691-710.
- Villaseca, C. y Orejana, D. (2008) Rutilos ricos en Zr incluidos en granates de Xenolitos granulíticos de la corteza inferior del Sistema Central español: implicaciones geodinámicas. *Geogaceta*, 44: 31-34.

- Villaseca, C., Andonaegui, P. y Barbero, L. (1993) Mapa geológico del plutonismo Hercínico de la región central española (Sierra de Guadarrama y Montes de Toledo). Escala 1:150.000. Servicio de Publicaciones del CSIC, Madrid.
- Villaseca, C., Pérez-Soba, C., Orejana, D., Merino, E. y Pérez Montserrat, E. (2013) “Geología 13 Madrid”: excursión al Plutón granítico de la Cabrera. *Tierra & Tecnología*, 43: 78-84.
- Visher, G.S. (1969) Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39: 1074-1106.
- Vogt, K. y Köster, H.N. (1978) Zur Mineralogie, Kristallchemie und geochemie einiger Montmorillonite aus bentoniten. *Clay Minerals*, 13: 25-43.
- Von Eynatten, H., (1996) Provenanzanalyse kretazischer Siliziklastika aus den Nördlichen Kalkalpen: Petrographie, Mineralchemie und Geochronologie des frühalpisch umgelagerten Detritus. Tesis Doctoral, Universidad de Mainz, 145 pp.
- Walter, H. y Breckle, S.W. (1986) Ecological systems of the Geobiosphere, 2: tropical and subtropical zoniobiomes. Springer Verlag, Berlin.
- Wagensberg, J. (2002) Si la naturaleza es la respuesta, ¿cuál era la pregunta? Tusquets: Barcelona, 126 pp.
- Weaver, C.E. y Pollard, L.D. (1973) The chemistry of clay minerals. *Developments in sedimentology*, 15, 213 pp.
- Weingart, P., Muhl, C. y Pansegrau, P. (2003) Of power maniacs and unethical geniuses: Science and scientist in fiction film. *Public Understanding of Science*, 12: 279-287.
- Weltje, G.J. (1994) Provenance and dispersal of sand-sized sediments: Reconstruction of dispersal patterns and sources of sand-sized sediments by means of inverse modelling techniques. Tesis Doctoral, Universidad de Utrecht, 125 pp.
- Weltje, G.J., Meijer, X.D. y De Boer, P.L. (1998) Stratigraphic inversion of siliciclastic basin fills: a note on the distinction between supply signals resulting from tectonic and climatic forcing. *Basin Research*, 10: 129-153.
- Wenk, H-R. y Bulakh, A. (2004) Minerals and human health. En: *Minerals: Their Constitution and Origin*. Cambridge University Press, United Kingdom: 558-569.
- Wilson, L. (1969) Les relations entre les processus géomorphologiques et le climat moderne comme méthode de paléoclimatologie. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 11 : 301-314.
- Wilson, M.J. (1975) Chemical weathering of some rock-forming minerals. *Soil Science*, 119: 345-349.
- Wilson M.J. (1999) The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. *Clay Minerals*, 34: 7-25.
- Wilson, M.J. (2004) Weathering of the primary rock-forming minerals: processes, products and rates. *Clay Minerals*, 39: 233-266.

- Wilson, M.D. y Pittman, E.D. (1977) Authigenic clays in sandstones: recognitions and influence on reservoir properties and paleoenvironmental analysis. *Journal of Sedimentary Petrology*, 47: 3-31.
- Wilson, M.D. y Wilson, L. (2014) Clay mineralogy and shale instability: an alternative conceptual analysis. *Clay Minerals*, 49: 127-145.
- Wolfe, J.A. (1985) Distribution of major vegetational types during the Tertiary. *Geophysical Monograph*, 32: 357-375.
- Wolters, F., Lagaly, G., Kahr, G., Nueesch, R. y Emmerich, K. (2009) A comprehensive characterization of dioctahedral smectites. *Clays and Clay Minerals*, 57: 115-133.
- Young, S.W. (1976) Petrographic textures of detrital polycrystalline quartz as an aid to interpreting crystalline source rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, 46: 595-603.
- Young, S.W., Basu, A., Mack, G., Darnell, N. y Suttner, L.J. (1975) Use of size-composition trends in Holocene soil and fluvial sand for paleoclimatic interpretations. *Proceedings of the IXth International Congress Sedimentology*, Nice, France.
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. y Billups, K. (2001) Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, 292: 686-693.
- Zaltman, G., Duncan, R. y Iiolbek, J. (1973) *Innovations and Organizations*. J. Wiley & Sons, New York.
- Zamorano Rojas, A.D. (2011) *El principio del fin. Imaginarios cinematográficos sobre el Apocalipsis*. Toluca, Instituto Mexiquense de Cultura, 128 pp.
- Zavala, L. (2005) Cine clásico, moderno y postmoderno. *Razón y Palabra*, 46 (www.razonypalabra.org.mx/anteriores/n46/lzavala.html). [Consulta 2-Julio-2013]
- Zuffa, G.G. (1980) Hybrid arenites: their composition and classification. *Journal of Sedimentary Petrology*, 50: 21-29.
- Zuffa, G.G. (1985) Optical analyses of arenites: Influence of methodology on compositional results. En: *Provenance of arenites* (G.G. Zuffa, Ed.), Dordrecht, Reidel: 165-189.
- Zuffa, G.G. (1987) Unravelling hinterland and offshore palaeogeography from deep-water arenites. En: *Concepts and case studies* (J.K. Leggett & G.G. Zuffa, Eds.), Graham and Trotman, London: 39-61.

ANEXOS

Anexo I

Muestras de los Yacimientos de Húmera								
Malla (mm)	HN1-1	HN1-2	HN2-1b	HN2-1t	HN2-2	HN2-3	HN3	HN4
4,00	0,00	0,50	6,60	2,80	0,80	0,30	0,00	0,00
2,83	0,00	2,00	11,10	4,70	2,00	0,90	0,00	0,00
2,00	2,90	4,10	16,70	10,00	4,20	3,70	0,20	0,00
1,44	3,80	6,60	19,70	17,40	9,70	7,50	0,30	0,10
1,00	5,70	8,90	23,60	21,50	14,00	11,40	1,00	0,30
0,71	7,80	10,40	21,30	22,80	17,70	15,60	1,70	0,70
0,50	9,40	13,00	18,50	20,80	21,80	16,60	2,30	1,40
0,35	10,60	15,20	15,60	18,60	18,50	16,20	3,70	2,00
0,25	16,80	21,60	16,00	25,10	29,70	33,90	8,10	2,60
0,177	19,00	19,50	14,50	20,10	23,10	24,30	11,20	3,00
0,125	20,10	18,90	12,20	15,30	21,30	22,50	15,40	6,70
0,088	15,30	15,60	6,70	12,40	18,10	22,40	15,70	22,90
0,062	11,90	12,60	5,10	6,60	7,90	15,10	15,40	58,20
Malla (mm)	HW1-1	HW1-2	HW2-1b	HW2-1t	HW2-2	HW2-3	HW3	HW4
4,00	0,00	0,30	5,40	4,10	0,60	0,10	0,00	0,00
2,83	0,00	1,50	9,60	6,10	1,60	0,90	0,10	0,00
2,00	2,10	3,70	14,60	12,20	4,10	3,40	0,20	0,00
1,44	2,90	6,40	19,50	19,50	8,90	7,30	0,70	0,00
1,00	4,50	8,20	23,60	21,40	13,50	11,50	1,50	0,10
0,71	6,40	10,20	22,80	21,00	18,00	15,10	2,10	0,50
0,50	8,20	15,30	19,20	20,10	21,70	16,20	2,60	1,10
0,35	11,00	16,80	16,40	15,80	19,90	15,50	3,80	1,50
0,25	15,10	23,00	17,00	26,30	29,80	33,00	8,50	2,10
0,177	19,20	20,30	14,20	16,00	23,10	24,80	10,10	3,80
0,125	21,00	17,70	11,80	16,70	22,30	23,90	13,50	6,10
0,088	16,80	15,00	6,90	12,50	16,40	24,10	15,90	27,20
0,062	12,30	13,20	4,80	8,00	9,40	13,00	15,10	61,30

Datos del análisis clastométrico: Peso retenido en cada fracción granulométrica de los sedimentos del yacimiento de Húmera.

Muestras de los Yacimientos de Somosaguas								
Malla (mm)	SN-5-3	SN-5-5	SN-5-6	SN-5-8	SN-5-9	SN-5-10	SN-3-1	SN-4-1
4,00	0,00	2,00	3,60	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00
2,83	0,10	2,80	3,50	0,50	0,20	1,40	0,30	0,00
2,00	0,60	3,70	4,40	0,90	1,00	3,50	0,70	0,80
1,44	2,00	6,00	6,00	2,00	2,80	5,90	2,00	1,80
1,00	3,50	8,10	7,50	2,50	4,40	7,60	3,30	3,80
0,71	8,70	10,80	9,80	3,60	7,00	9,50	4,10	6,70
0,50	10,20	12,30	11,60	4,60	12,00	14,00	6,50	8,70
0,35	13,80	16,20	14,10	5,70	17,00	17,80	11,50	11,10
0,25	18,60	14,50	22,20	16,00	17,80	21,60	17,90	12,00
0,177	20,10	13,50	13,10	18,80	16,20	14,80	15,80	15,10
0,125	17,20	12,10	11,90	25,10	12,70	14,20	15,10	15,30
0,088	13,50	11,00	8,60	23,30	8,30	12,00	14,60	11,00
0,062	11,00	6,90	5,70	15,00	5,90	10,10	13,30	7,90
Malla (mm)	SN-4-4	SN-4-6	SN-5-11	SN-2-1	SN-2-4	SN-3-3	SN-3-6	SN-3-9
4,00	4,70	4,50	2,70	0,60	1,80	4,90	1,00	1,40
2,83	6,30	6,80	3,30	1,50	3,70	7,20	1,80	2,10
2,00	9,00	7,90	4,00	3,20	5,90	12,40	3,50	5,20
1,44	11,70	8,80	5,90	4,60	8,30	16,80	4,70	8,30
1,00	12,80	9,00	7,50	7,30	12,60	18,30	6,70	9,90
0,71	14,60	10,60	9,40	12,80	12,40	16,70	8,60	11,80
0,50	16,00	11,70	11,50	15,40	12,10	13,80	13,10	13,30
0,35	13,10	13,10	12,20	13,70	11,80	9,00	14,10	12,70
0,25	12,10	14,20	19,50	13,20	11,60	9,40	19,80	17,60
0,177	9,00	11,00	13,80	11,10	10,40	7,10	15,50	12,60
0,125	8,10	9,00	11,50	9,30	9,20	5,40	14,60	12,20
0,088	6,40	8,60	8,30	8,20	8,60	3,10	10,90	11,00
0,062	4,50	8,00	5,00	6,30	8,00	2,90	7,60	7,60
Malla (mm)	SN-3-11	SN-4-9	SN-4-12	SN-4-14	SN-2-6	SN-5-13	SN-5-15	SN-1-1
4,00	1,20	3,20	1,40	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50
2,83	1,90	3,80	2,60	2,60	0,70	0,50	0,50	2,40
2,00	5,60	7,60	4,90	5,40	1,50	1,30	1,30	4,40
1,44	8,90	10,00	7,80	8,80	3,90	2,80	2,80	7,70
1,00	10,10	11,50	9,30	10,70	5,60	5,80	5,20	10,50
0,71	11,50	13,90	14,50	15,80	7,60	7,70	7,60	13,00
0,50	13,50	13,60	13,10	14,20	8,30	8,50	8,50	14,80
0,35	13,80	13,80	12,80	12,70	10,80	15,10	13,60	18,10
0,25	18,20	12,50	13,30	13,00	16,00	16,40	15,90	16,00
0,177	13,60	12,30	12,40	11,80	14,60	13,60	13,80	13,80
0,125	12,10	11,60	10,50	10,80	12,70	11,20	12,10	12,20
0,088	11,00	10,10	9,10	11,10	9,20	10,80	11,60	7,00
0,062	7,50	7,20	7,30	7,60	8,00	9,50	10,00	5,30
Malla (mm)	SN-1-2	SN-1-6	SN-1-8	SN-2-8	SN-2-11	SN-3-13	SN-5-16	SN-5-17
4,00	0,00	0,00	1,70	0,00	1,00	0,60	0,00	1,60
2,83	0,80	0,70	2,60	0,90	3,30	1,50	1,00	2,60
2,00	2,60	1,70	3,60	2,40	5,90	4,20	1,70	4,50
1,44	4,80	4,00	5,00	4,70	8,00	5,80	2,50	5,90
1,00	7,30	7,50	5,90	7,20	9,20	10,80	3,80	8,20
0,71	9,20	9,20	8,10	13,60	13,90	13,20	5,50	11,80
0,50	12,80	9,90	8,50	15,90	15,90	15,90	7,70	16,80
0,35	15,40	11,20	7,90	18,50	15,00	14,10	11,00	15,60
0,25	13,60	18,60	13,00	13,20	14,20	11,80	17,00	14,80
0,177	13,00	15,10	11,70	11,20	12,30	11,20	12,00	12,00
0,125	12,10	15,90	11,90	10,00	10,40	10,80	10,90	10,90
0,088	10,60	13,20	11,30	8,20	8,80	9,00	10,10	10,00
0,062	6,40	9,20	8,20	6,90	7,90	6,40	9,30	8,10

(Continúa en la página siguiente)

Continuación										
Malla (mm)	SN-1-10	3-1	4-1	N-1	S-1a	3-3	3-7	4-2	4-5	S-2
4,00	1,50	0,60	0,70	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	0,00
2,83	2,10	1,30	1,40	2,20	0,50	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
2,00	3,00	2,50	2,50	2,90	1,20	0,00	0,00	0,00	9,80	0,00
1,44	5,70	6,00	5,70	5,80	3,60	0,00	0,00	0,00	15,80	0,00
1,00	9,00	8,20	7,90	9,50	4,90	0,00	0,30	0,10	19,00	0,40
0,71	10,40	10,10	11,30	10,40	6,60	0,30	0,80	0,10	22,10	0,50
0,50	11,60	10,80	11,60	11,80	7,20	0,60	1,60	0,40	20,10	0,60
0,35	14,50	11,40	12,50	12,60	7,10	1,30	2,80	0,50	21,80	1,10
0,25	18,30	16,20	14,10	16,40	10,50	2,50	3,50	1,00	22,00	2,30
0,177	17,00	18,60	19,80	21,50	9,30	8,80	6,50	9,30	17,50	10,90
0,125	14,70	21,40	17,30	17,20	7,10	13,50	8,10	12,80	10,20	15,60
0,088	11,60	19,30	14,50	14,50	8,20	20,70	15,00	25,60	7,50	23,20
0,062	9,00	13,60	11,10	12,60	6,10	26,80	30,20	21,80	3,60	22,10
Malla (mm)	S-4	S-6	S-8	S-10	3-13	4-8 b	4-8 t	N-4.1	N-4.2	N-4.3
4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	1,00	1,40	2,00	0,80	2,10
2,83	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	1,80	2,80	4,40	1,50	4,80
2,00	0,00	0,00	0,30	1,50	3,80	3,80	6,20	8,00	3,60	8,80
1,44	0,60	1,00	0,90	1,80	6,80	5,70	12,80	17,70	5,90	19,00
1,00	0,80	1,50	2,00	2,60	8,60	7,90	18,50	21,50	8,30	20,10
0,71	1,10	3,30	4,10	3,90	1,000	10,80	21,20	24,70	11,00	25,10
0,50	1,30	4,10	5,90	5,80	10,90	12,90	18,90	24,80	12,60	21,90
0,35	1,50	5,60	6,40	6,80	11,60	12,30	16,10	16,50	12,10	13,80
0,25	2,50	8,30	9,90	10,60	17,80	11,80	12,60	12,80	11,40	12,40
0,177	12,40	14,90	16,80	15,90	18,30	19,80	10,00	11,90	20,10	12,10
0,125	16,30	17,70	18,60	19,80	21,10	25,00	9,10	9,70	24,70	8,40
0,088	24,00	25,60	28,30	27,60	19,70	23,10	6,10	7,20	22,10	7,50
0,062	21,20	20,40	22,70	23,40	15,60	14,20	4,30	5,90	13,70	5,80
Malla (mm)	N-4.4	N-4.5	N-4.6	6-2	6-4	6-5	6-6	7-1	7-2	
4,00	0,90	0,90	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2,83	2,50	2,00	1,60	0,00	0,00	0,40	2,70	0,00	0,00	
2,00	6,00	5,50	3,90	0,00	0,00	1,00	2,40	0,00	0,60	
1,44	11,90	10,70	6,50	0,00	0,00	2,60	3,00	1,20	1,00	
1,00	16,70	14,80	7,80	0,00	0,00	6,50	6,10	2,20	2,00	
0,71	20,80	19,70	10,40	0,10	0,20	10,20	9,10	4,10	3,10	
0,50	17,60	18,00	12,00	0,40	0,40	11,50	9,90	7,50	4,80	
0,35	15,30	14,70	12,40	0,80	1,00	12,10	10,30	9,70	7,20	
0,25	13,00	13,20	11,20	1,60	1,90	15,80	14,20	12,00	13,30	
0,177	11,20	11,30	17,00	1,90	2,30	18,50	16,90	15,90	14,70	
0,125	9,50	10,10	19,70	7,30	8,00	15,00	20,50	19,40	18,50	
0,088	7,20	8,00	22,80	15,50	15,00	13,80	18,20	17,20	17,30	
0,062	6,90	6,80	13,90	31,30	29,30	10,80	14,30	15,80	15,30	

Datos del análisis clastométrico: Peso retenido en cada fracción granulométrica de los sedimentos del yacimiento de Somosaguas.

Anexo II

Características texturales de las muestras del Yacimiento de Somosaguas.

Tramo	Muestra	Selección	Redondez	Relación Esqueleto/Matriz	Tipo de matriz	Contactos clastos
T6?	7-2	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	7-1	Mala	Subredondeado	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
T5	6-6	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	6-5	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
T4	6-4	Moderada	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	6-2	Moderada	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
T3	N-4.6	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz, <i>pore fillings</i> y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	N-4.5	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	N-4.4	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	N-4.3	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	N-4.2	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	N-4.1	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz, <i>pore fillings</i> y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	4-8 techo	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	4-8 base	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	3-13	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales

(Continuación)

Tramo	Muestra	Selección	Redondez	Relación Esqueleto/Matriz	Tipo de matriz	Contactos clastos
T2	4-5	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Base: clasto Techo: matriz	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Puntuales, flotantes y largos
	S-10	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	S-8	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	3-7	Moderada	Subredondeado	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz, <i>pore fillings</i> y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	S-6	Moderada	Subredondeado	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	S-4	Moderada	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	4-2	Moderada	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz, <i>pore fillings</i> y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	3-3	Moderada	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
T1	S-2	Moderada	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	N-1	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	4-1	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	3-1	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	S-1a	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz, <i>pore fillings</i> y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-1-10	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz, <i>pore fillings</i> y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales

(Continuación)

Tramo	Muestra	Selección	Redondez	Relación Esqueleto/Matriz	Tipo de matriz	Contactos clastos
T0	SN-1-8	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-1-6	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-1-2	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-1-1	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-2-12	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-2-11	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-2-10	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Clasto-soportado	Protomatriz y epimatriz.	Puntuales, flotantes y largos
	SN-2-8	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Base: Matriz Techo: Clasto	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-2-9	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Base: Matriz Techo: Clasto	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes, puntuales y largos
	SN-3-13	Mala	Subredondeado	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-4-15	Mala	Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-5-17	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Clasto-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Puntuales y largos
T-1	SN-5-16	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-5-15	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz, <i>pore fillings</i> y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-5-13	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-2-6	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales

(Continuación)

Tramo	Muestra	Selección	Redondez	Relación Esqueleto/Matriz	Tipo de matriz	Contactos clastos
T-2	SN-2-1	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-2-4	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-3-3	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Clasto-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Puntuales, flotantes y largos
	SN-3-6	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-3-9	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-3-10	Mala	Subanguloso	Clasto-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Puntuales y largos
	SN-3-11	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-4-9	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-4-11	Mala	Subanguloso a subredondeado	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-4-12	Mala	Subanguloso	Clasto-soportado	Protomatriz y epimatriz.	Puntuales, flotantes y largos
T-3	SN-4-14	Mala	Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz, <i>pore fillings</i> y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-3-1	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-4-1	Mala	Subredondeado	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-4-3	Mala	Subanguloso	Base: Clasto Techo: Matriz	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes, puntuales y largos
	SN-4-4	Mala	Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-4-6	Mala	Subredondeado	Clasto-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Puntuales y largos
	SN-5-11	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales

(Continuación)

Tramo	Muestra	Selección	Redondez	Relación Esqueleto/Matriz	Tipo de matriz	Contactos clastos
T-4	SN-5-8	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-5-9	Moderada	Subredondeado	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-5-10	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
T-5	SN-5-3	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-5-4	Mala	Subanguloso a subredondeado	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-5-5	Mala	Subanguloso a subredondeado	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales
	SN-5-6	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Matriz-soportado	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Flotantes y puntuales

Características texturales de las muestras del Yacimiento de Húmera.

Tramo	Muestra	Selección	Redondez	Relación Esqueleto/Matriz	Tipo matriz	Cementos	Contactos clastos
H4	HW4	Moderada	Subanguloso	-	-	-	Flotantes y puntuales
	HN4	Moderada	Subanguloso	-	-	-	Flotantes y puntuales
H3	HW3	Moderada	Subredondeado a Subanguloso	-	-	-	Flotantes
	HN3	Moderada	Subredondeado a Subanguloso	-	-	-	Flotantes
H2	HW2-3	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Clasto-soportada Localmente: matriz-soportada	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Poiquilotópico de calcita discontinua	Puntuales, flotantes y largos
	HN2-3	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Clasto-soportada Localmente: matriz-soportada	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Poiquilotópico de calcita discontinua	Puntuales, flotantes y largos
	HW2-2	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Clasto-soportada Localmente: matriz-soportada	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Poiquilotópico de calcita discontinua	Puntuales, flotantes y largos
	HN2-2	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Clasto-soportada Localmente: matriz-soportada	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Poiquilotópico de calcita discontinua	Puntuales, flotantes y largos
	HW2-1techo	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Clasto-soportada Localmente: matriz-soportada	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	-	Flotantes y puntuales
	HN2-1techo	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Clasto-soportada Localmente: matriz-soportada	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	-	Flotantes y puntuales
	HW2-1base	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Clasto-soportada	Protomatriz, epimatriz, <i>pore fillings</i> y <i>coatings</i> .	-	Puntuales y largos
	HN2-1base	Mala	Subredondeado a Subanguloso	Clasto-soportada	Protomatriz, epimatriz, <i>pore fillings</i> y <i>coatings</i> .	-	Puntuales y largos
H1	HW1-2	Mala	Subanguloso	Clasto-soportada Localmente: matriz-soportada	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Poiquilotópico de calcita discontinua	Puntuales, flotantes y largos
	HN1-2	Mala	Subanguloso	Clasto-soportada Localmente: matriz-soportada	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Poiquilotópico de calcita discontinua	Puntuales, flotantes y largos
	HW1-1	Mala	Subanguloso	Clasto-soportada Localmente: matriz-soportada	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Poiquilotópico de calcita discontinua	Puntuales, flotantes y largos
	HN1-1	Mala	Subanguloso	Clasto-soportada Localmente: matriz-soportada	Protomatriz, epimatriz y <i>coatings</i> .	Poiquilotópico de calcita discontinua	Puntuales, flotantes y largos

Anexo III

Datos de composición química de arcillas de muestras de Somosaguas obtenidas mediante AEM-MET.

Tramo	Muestra-Analysis	Si	Al(tetra)	Al(octa)	Al(Total)	Mg	Fe3+	Ti	Na	K	Ca	Q octa	Q Lamina	Q Interlaminar	Cationes octa
T-5	SN-5-1(<2U)-N°1	7.73	0.27	3.19	3.46	0.44	0.37	0.00	0.00	0.16	0.28	0.44	0.71	0.72	4.00
	SN-5-1(<2U)-N°2	7.86	0.14	3.00	3.14	0.70	0.32	0.00	0.00	0.02	0.37	0.64	0.78	0.76	4.02
	SN-5-1(<2U)-N°3	7.54	0.46	2.82	3.28	0.95	0.26	0.02	0.08	0.35	0.41	0.78	1.24	1.25	4.05
	SN-5-1(<2U)-N°4	7.96	0.04	2.89	2.93	0.78	0.36	0.06	0.36	0.11	0.00	0.45	0.49	0.47	4.09
	SN-5-1(<2U)-N°5	7.86	0.14	3.26	3.40	0.71	0.10	0.00	0.00	0.03	0.31	0.50	0.64	0.65	4.07
	SN-5-1(<2U)-N°6	7.89	0.11	3.49	3.60	0.42	0.10	0.00	0.01	0.06	0.21	0.39	0.50	0.49	4.01
	SN-5-1(<2U)-N°7	7.26	0.74	2.71	3.45	0.59	0.77	0.00	0.06	0.19	0.43	0.38	1.12	1.11	4.07
T-5	SN-5-6(<2U)-N°1	7.22	0.78	3.07	3.85	0.55	0.51	0.01	0.47	0.40	0.01	0.12	0.90	0.89	4.14
	SN-5-6(<2U)-N°2	7.68	0.32	3.10	3.42	0.79	0.14	0.01	0.26	0.27	0.23	0.66	0.98	0.99	4.04
	SN-5-6(<2U)-N°3	6.21	1.79	3.33	5.12	0.33	0.35	0.04	0.35	1.48	0.05	0.14	1.93	1.93	4.05
	SN-5-6(<2U)-N°4	6.29	1.71	3.42	5.13	0.36	0.27	0.02	0.33	1.41	0.04	0.13	1.84	1.82	4.07
	SN-5-6(<2U)-N°5	7.23	0.77	3.02	3.79	0.58	0.45	0.02	0.05	1.01	0.02	0.35	1.12	1.10	4.07
	SN-5-6(<2U)-N°6	7.41	0.59	3.09	3.68	0.61	0.39	0.01	0.15	0.73	0.00	0.30	0.89	0.88	4.10
T-4	SN-5-8ARE(<2U)-N°1	7.29	0.71	3.06	3.77	0.69	0.38	0.00	0.52	0.38	0.05	0.30	1.01	1.00	4.13
	SN-5-8ARE(<2U)-N°2	6.99	1.01	3.22	4.23	0.57	0.21	0.01	0.26	0.98	0.14	0.53	1.54	1.52	4.01
	SN-5-8ARE(<2U)-N°3	7.53	0.47	3.29	3.76	0.61	0.10	0.00	0.05	0.26	0.38	0.61	1.08	1.07	4.00
	SN-5-8ARE(<2U)-N°4	7.94	0.06	3.19	3.25	0.53	0.28	0.00	0.00	0.01	0.28	0.53	0.59	0.57	4.00
	SN-5-8ARE(<2U)-N°5	6.98	1.02	2.92	3.94	0.69	0.35	0.02	0.15	1.22	0.19	0.73	1.75	1.75	3.98
	SN-5-8ARE(<2U)-N°6	6.90	1.10	3.09	4.19	0.49	0.46	0.02	0.26	1.01	0.05	0.29	1.39	1.37	4.06
	SN-5-8ARE(<2U)-N°7	7.37	0.63	3.22	3.85	0.68	0.21	0.01	0.52	0.38	0.01	0.31	0.94	0.92	4.12
T-4	SN-5-8ARC(<2U)-N°1	7.90	0.10	3.29	3.39	0.51	0.22	0.01	0.02	0.09	0.20	0.41	0.51	0.51	4.03
	SN-5-8ARC(<2U)-N°2	7.88	0.12	3.12	3.24	0.87	0.09	0.01	0.00	0.21	0.26	0.59	0.71	0.73	4.09
	SN-5-8ARC(<2U)-N°3	7.85	0.15	3.51	3.66	0.35	0.15	0.01	0.38	0.04	0.01	0.28	0.43	0.44	4.02
	SN-5-8ARC(<2U)-N°4	7.57	0.43	2.61	3.04	0.82	0.62	0.01	0.67	0.17	0.10	0.63	1.06	1.04	4.06
	SN-5-8ARC(<2U)-N°5	7.49	0.51	2.80	3.31	0.89	0.41	0.02	0.12	0.30	0.30	0.51	1.02	1.02	4.12
	SN-5-8ARC(<2U)-N°6	7.29	0.71	3.08	3.79	0.74	0.32	0.03	0.12	0.50	0.15	0.20	0.91	0.92	4.17
	SN-5-8ARC(<2U)-N°7	7.51	0.49	3.55	4.04	0.42	0.12	0.00	0.00	0.15	0.24	0.15	0.64	0.63	4.09
T-3	SN-4-3(<2U)-N°1	7.13	0.87	2.59	3.46	0.58	0.92	0.06	0.00	0.18	0.37	0.07	0.94	0.92	4.15
	SN-4-3(<2U)-N°2	7.22	0.78	2.01	2.79	0.59	1.46	0.09	0.00	0.75	0.04	0.05	0.83	0.83	4.15
	SN-4-3(<2U)-N°3	6.15	1.85	2.23	4.08	1.39	0.79	0.00	0.45	1.49	0.03	0.16	2.01	2.00	4.41
	SN-4-3(<2U)-N°4	6.25	1.75	1.88	3.63	0.96	1.37	0.07	0.00	1.30	0.25	0.05	1.80	1.80	4.28
	SN-4-3(<2U)-N°5	7.16	0.84	3.21	4.05	0.64	0.24	0.04	0.18	0.58	0.14	0.21	1.05	1.04	4.13
	SN-4-3(<2U)-N°6	7.29	0.71	3.44	4.15	0.45	0.16	0.01	0.00	0.68	0.14	0.26	0.97	0.96	4.06
	SN-4-3(<2U)-N°7	7.40	0.60	3.06	3.66	0.43	0.57	0.00	0.12	0.62	0.05	0.25	0.85	0.84	4.06
	SN-4-3(<2U)-N°8	7.09	0.91	2.82	3.73	0.52	0.78	0.02	0.01	0.64	0.16	0.08	0.99	0.97	4.14
T-3	SN-4-8(<2U)-N°1	7.83	0.17	2.94	3.11	0.81	0.26	0.02	0.09	0.06	0.36	0.70	0.87	0.87	4.03
	SN-4-8(<2U)-N°2	7.22	0.78	3.06	3.84	0.62	0.46	0.01	0.09	0.54	0.16	0.16	0.94	0.95	4.15
	SN-4-8(<2U)-N°3	7.11	0.89	2.18	3.07	0.62	1.25	0.05	0.26	0.91	0.00	0.27	1.16	1.17	4.10
	SN-4-8(<2U)-N°4	7.91	0.09	3.12	3.21	0.77	0.15	0.00	0.11	0.05	0.29	0.65	0.74	0.74	4.04
	SN-4-8(<2U)-N°5	6.35	1.65	3.26	4.91	0.44	0.26	0.03	0.15	1.89	0.03	0.44	2.09	2.10	3.99
	SN-4-8(<2U)-N°6	6.09	1.91	2.53	4.44	1.05	0.78	0.01	0.27	1.18	0.19	-0.07	1.84	1.83	4.37
	SN-4-8(<2U)-N°7	7.15	0.85	2.76	3.61	0.55	0.81	0.03	0.02	0.38	0.27	0.07	0.92	0.94	4.15
T-2	SN-2-2(<2U)-N°1	7.73	0.27	3.15	3.42	0.58	0.30	0.00	0.11	0.11	0.27	0.49	0.76	0.76	4.03
	SN-2-2(<2U)-N°2	7.32	0.68	3.42	4.10	0.27	0.41	0.01	0.00	0.02	0.29	-0.07	0.61	0.60	4.11
	SN-2-2(<2U)-N°3	7.69	0.31	2.93	3.24	0.82	0.39	0.02	0.21	0.18	0.11	0.32	0.63	0.61	4.16
	SN-2-2(<2U)-N°4	7.36	0.64	2.90	3.54	0.65	0.54	0.00	0.00	0.36	0.32	0.38	1.02	1.00	4.09
	SN-2-2(<2U)-N°5	7.27	0.73	3.29	4.02	0.53	0.22	0.01	0.00	0.93	0.08	0.37	1.10	1.09	4.05
	SN-2-2(<2U)-N°6	7.91	0.09	3.36	3.45	0.54	0.09	0.00	0.55	0.06	0.02	0.57	0.66	0.65	3.99
	SN-2-2(<2U)-N°7	6.89	1.11	2.31	3.42	0.82	0.70	0.17	0.09	0.68	0.49	0.65	1.76	1.75	4.00
T-2	SN-3-12(<2U)-N°1	7.19	0.81	2.75	3.56	0.94	0.31	0.03	0.00	1.41	0.11	0.82	1.63	1.63	4.03
	SN-3-12(<2U)-N°2	7.64	0.36	2.41	2.77	0.80	0.83	0.00	0.02	0.15	0.43	0.68	1.04	1.03	4.04
	SN-3-12(<2U)-N°3	7.12	0.88	3.23	4.11	0.51	0.38	0.03	0.06	0.55	0.14	0.03	0.91	0.89	4.15
	SN-3-12(<2U)-N°4	6.84	1.16	2.46	3.62	0.88	0.67	0.01	0.12	1.67	0.09	0.81	1.97	1.97	4.02
	SN-3-12(<2U)-N°5	7.01	0.99	3.15	4.14	0.45	0.38	0.01	0.19	1.02	0.12	0.47	1.46	1.45	3.99
	SN-3-12(<2U)-N°6	6.98	1.02	2.86	3.88	0.68	0.43	0.00	0.16	1.26	0.19	0.77	1.79	1.80	3.97
	SN-3-12(<2U)-N°7	6.97	1.03	3.62	4.65	0.28	0.14	0.00	0.26	0.92	0.00	0.16	1.19	1.18	4.04
	SN-3-12(<2U)-N°8	7.15	0.85	2.51	3.36	0.63	0.95	0.02	0.01	0.63	0.24	0.28	1.13	1.12	4.11
	SN-3-12(<2U)-N°9	7.81	0.19	2.86	3.05	0.88	0.24	0.00	0.00	0.19	0.47	0.94	1.13	1.13	3.98
T-1	SN-5-13ARE(<2U)-N°1	7.76	0.24	3.09	3.33	0.76	0.15	0.01	0.33	0.03	0.29	0.72	0.96	0.94	4.01
	SN-5-13ARE(<2U)-N°2	7.53	0.47	3.29	3.76	0.61	0.10	0.00	0.05	0.22	0.40	0.61	1.08	1.07	4.00
	SN-5-13ARE(<2U)-N°3	6.32	1.68	1.37	3.05	1.15	1.77	0.02	0.41	1.46	0.00	0.20	1.88	1.87	4.31
	SN-5-13ARE(<2U)-N°4	6.72	1.28	3.19	4.47	0.66	0.23	0.03	0.12	1.30	0.07	0.30	1.58	1.56	4.11
	SN-5-13ARE(<2U)-N°5	6.95	1.05	3.51	4.56	0.38	0.10	0.00	0.00	1.26	0.10	0.41	1.46	1.46	3.99
	SN-5-13ARE(<2U)-N°6	7.38	0.62	2.97	3.59	0.68	0.44	0.02	0.16	0.42	0.18	0.33	0.95	0.94	4.11
T-1	SN-5-13ARE(<2U)-N°7	7.36	0.64	2.86	3.50	0.61	0.63	0.02	0.12	0.57	0.09	0.23	0.87	0.87	4.12
	SN-5-13ARC(<2U)-N°1	7.58	0.42	3.06	3.48	0.85	0.16	0.00	0.47	0.37	0.11	0.64	1.06	1.06	4.07
	SN-5-13ARC(<2U)-N°2	7.86	0.14	3.56	3.70	0.38	0.06	0.00	0.02	0.06	0.22	0.38	0.52	0.52	4.00
	SN-5-13ARC(<2U)-N°3	7.27	0.73	3.21	3.94	0.55	0.26	0.03	0.62	0.45	0.01	0.37	1.10	1.09	4.05
	SN-5-13ARC(<2U)-N°4	7.38	0.62	2.91	3.53	0.74	0.42	0.02	0.12	0.56	0.19	0.45	1.07	1.06	4.09
	SN-5-13ARC(<2U)-N°5	7.19	0.81	3.26	4.07	0.55	0.31	0.00	0.11	0.83	0.02	0.19	1.00	0.98	4.12
T-1	SN-5-13ARC(<2U)-N°6	7.53	0.47	3.12	3.59	0.81	0.11	0.01	0.47	0.35	0.15	0.65	1.12	1.12	4.05

(Continuación)

Tramo	Muestra-Analysis	Si	Al(tetra)	Al(octa)	Al (Total)	Mg	Fe3+	Ti	Na	K	Ca	Q octa	Q Lamina	Q Interlaminar	Cationes octa
T0	SN-1-2(<2U)-N°1	7,09	0,91	2,86	3,77	0,73	0,57	0,06	0,22	0,41	0,14	0,01	0,92	0,91	4,22
	SN-1-2(<2U)-N°2	7,00	1,00	3,22	4,22	0,47	0,45	0,01	0,02	0,12	0,43	0,01	1,01	1,00	4,15
	SN-1-2(<2U)-N°3	7,37	0,63	2,62	3,25	0,57	0,90	0,01	0,00	0,17	0,35	0,26	0,89	0,87	4,10
	SN-1-2(<2U)-N°4	7,46	0,54	3,29	3,83	0,62	0,21	0,00	0,02	0,28	0,25	0,26	0,80	0,80	4,12
	SN-1-2(<2U)-N°5	7,86	0,14	3,00	3,14	0,86	0,21	0,00	0,07	0,15	0,28	0,65	0,79	0,78	4,07
	SN-1-2(<2U)-N°6	7,47	0,53	2,97	3,50	0,54	0,57	0,00	0,23	0,61	0,00	0,30	0,83	0,84	4,08
	SN-1-2(<2U)-N°7	7,08	0,92	3,36	4,28	0,48	0,27	0,03	0,12	0,49	0,16	0,03	0,95	0,93	4,14
	SN-1-2(<2U)-N°8	7,49	0,51	3,14	3,65	0,49	0,41	0,00	0,01	0,21	0,33	0,37	0,88	0,88	4,04
	SN-1-2(<2U)-N°9	6,82	1,18	2,77	3,95	0,64	0,49	0,05	0,04	1,64	0,11	0,74	1,92	1,90	3,95
	SN-1-2(<2U)-N°10	6,45	1,55	2,74	4,29	0,76	0,54	0,05	0,04	1,54	0,21	0,44	1,99	2,00	4,09
	SN-1-2(<2U)-N°11	6,82	1,18	2,77	3,95	0,64	0,49	0,05	0,04	1,64	0,11	0,74	1,92	1,90	3,95
T0	SN-2-11(<2U)-N°1	7,84	0,16	2,51	2,67	0,69	0,85	0,00	0,00	0,12	0,29	0,54	0,70	0,70	4,05
	SN-2-11(<2U)-N°2	6,44	1,56	3,68	5,24	0,21	0,11	0,00	0,00	1,61	0,08	0,21	1,77	1,77	4,00
	SN-2-11(<2U)-N°3	7,12	0,88	3,26	4,14	0,51	0,40	0,00	0,01	0,17	0,35	0,00	0,88	0,88	4,17
	SN-2-11(<2U)-N°4	7,28	0,72	3,32	4,04	0,54	0,17	0,01	0,00	0,07	0,52	0,41	1,13	1,11	4,04
	SN-2-11(<2U)-N°5	7,50	0,50	2,76	3,26	0,57	0,73	0,01	0,00	0,19	0,32	0,35	0,85	0,83	4,07
	SN-2-11(<2U)-N°6	6,77	1,23	2,92	4,15	0,71	0,55	0,10	0,00	0,78	0,11	-0,23	1,00	1,00	4,28
	SN-2-11(<2U)-N°7	6,70	1,30	3,11	4,41	0,62	0,51	0,00	0,00	0,98	0,10	-0,10	1,20	1,18	4,24
T1	SOMO-S1a (<0,5U)-N°1	7,92	0,08	2,81	2,89	1,03	0,36	0,00	0,00	0,04	0,23	0,43	0,51	0,50	4,20
	SOMO-S1a (<0,5U)-N°2	7,19	0,81	1,77	2,58	0,76	1,75	0,01	0,00	0,62	0,04	-0,12	0,69	0,70	4,29
	SOMO-S1a (<0,5U)-N°3	7,49	0,51	2,78	3,29	0,85	0,56	0,03	0,00	0,23	0,23	0,16	0,67	0,69	4,22
	SOMO-S1a (<0,5U)-N°4	6,61	1,39	3,85	5,24	0,21	0,16	0,00	0,00	0,79	0,09	-0,45	0,94	0,97	4,22
	SOMO-S1a (<0,5U)-N°5	6,81	1,19	3,68	4,87	0,16	0,23	0,02	0,00	1,04	0,02	-0,13	1,06	1,08	4,09
	SOMO-S1a (<0,5U)-N°6	7,32	0,68	3,38	4,06	0,51	0,24	0,00	0,00	0,21	0,29	0,12	0,80	0,79	4,13
	SOMO-S1a (<0,5U)-N°7	6,04	1,96	1,37	3,33	1,63	1,51	0,33	0,00	0,71	0,03	-1,22	0,74	0,77	4,84
	SOMO-S1a (<0,5U)-N°8	7,29	0,71	3,04	3,75	0,61	0,57	0,02	0,01	0,22	0,19	-0,13	0,58	0,61	4,24
	SOMO-S1a (<0,5U)-N°9	7,67	0,33	2,59	2,92	0,76	0,85	0,00	0,00	0,04	0,22	0,16	0,49	0,48	4,20
	SOMO-S1a (<0,5U)-N°10	7,75	0,25	2,91	3,16	0,82	0,36	0,00	0,00	0,04	0,37	0,55	0,80	0,78	4,09
	SOMO-S1a (<0,5U)-N°11	6,94	1,06	1,66	2,72	1,01	1,48	0,15	0,05	0,75	0,12	-0,04	1,02	1,04	4,30
	SOMO-S1a (<0,5U)-N°12	6,98	1,02	2,34	3,36	0,73	0,78	0,20	0,03	0,52	0,30	0,38	1,40	1,15	4,05
	SOMO-S1a (<0,5U)-N°13	6,90	1,10	2,37	3,47	0,72	0,75	0,19	0,04	0,56	0,23	0,44	1,54	1,06	4,03
T2	SOMO-3-4(<2U)-N°1	6,96	1,04	3,42	4,46	0,32	0,42	0,01	0,00	0,52	0,16	-0,20	0,84	0,84	4,17
	SOMO-3-4(<2U)-N°2	6,41	1,59	4,01	5,60	0,00	0,08	0,00	0,00	1,22	0,05	-0,27	1,32	1,32	4,09
	SOMO-3-4(<2U)-N°3	6,87	1,13	2,42	3,55	0,75	0,80	0,16	0,03	0,71	0,39	0,20	1,33	1,52	4,13
	SOMO-3-4(<2U)-N°4	6,99	1,01	3,27	4,28	0,56	0,53	0,00	0,02	0,13	0,17	-0,52	0,49	0,49	4,36
	SOMO-3-4(<2U)-N°5	6,79	1,21	2,17	3,38	0,84	1,21	0,14	0,02	0,47	0,17	-0,38	0,83	0,83	4,36
	SOMO-3-4(<2U)-N°6	7,22	0,78	3,16	3,94	0,46	0,67	0,00	0,00	0,00	0,19	-0,41	0,37	0,38	4,29
	SOMO-3-4(<2U)-N°7	7,21	0,79	3,29	4,08	0,49	0,46	0,02	0,00	0,11	0,19	-0,31	0,48	0,49	4,26
	SOMO-3-4(<2U)-N°8	6,74	1,26	3,88	5,14	0,22	0,29	0,00	0,01	0,08	0,11	-0,95	0,31	0,31	4,39
	SOMO-3-4(<2U)-N°9	7,09	0,91	3,07	3,98	0,53	0,64	0,03	0,11	0,15	0,16	-0,31	0,60	0,58	4,27
T2	SOMO-3-4(<0,5U)-N°1	6,37	1,63	4,11	5,74	0,09	0,19	0,01	0,01	0,44	0,03	-1,12	0,51	0,51	4,40
	SOMO-3-4(<0,5U)-N°2	6,38	1,62	4,03	5,65	0,06	0,15	0,00	0,00	0,89	0,05	-0,66	0,96	0,99	4,24
	SOMO-3-4(<0,5U)-N°3	6,72	1,28	3,88	5,16	0,17	0,23	0,01	0,20	0,17	0,11	-0,71	0,57	0,59	4,29
	SOMO-3-4(<0,5U)-N°4	6,99	1,01	3,21	4,22	0,55	0,46	0,02	0,17	0,22	0,22	-0,19	0,82	0,83	4,24
	SOMO-3-4(<0,5U)-N°5	6,42	1,58	4,03	5,61	0,00	0,36	0,00	0,01	0,32	0,04	-1,17	0,41	0,41	4,39
	SOMO-3-4(<0,5U)-N°6	7,23	0,77	3,04	3,81	0,47	0,67	0,00	0,00	0,07	0,31	-0,07	0,70	0,69	4,18
	SOMO-3-4(<0,5U)-N°7	6,35	1,65	2,98	4,63	0,89	0,75	0,04	0,04	0,25	0,11	-1,13	0,52	0,51	4,66
	SOMO-3-4(<0,5U)-N°8	7,74	0,26	3,01	3,27	0,91	0,25	0,00	0,00	0,03	0,32	0,40	0,66	0,67	4,17
	SOMO-3-11(<2U)-N°1	7,22	0,78	2,78	3,56	0,57	0,78	0,01	0,00	0,21	0,36	0,14	0,92	0,93	4,14
T2	SOMO-3-11(<2U)-N°2	6,89	1,11	3,24	4,35	0,41	0,74	0,01	0,00	0,04	0,15	-0,80	0,31	0,34	4,40
	SOMO-3-11(<2U)-N°3	6,81	1,19	3,34	4,53	0,42	0,56	0,05	0,00	0,24	0,11	-0,74	0,45	0,46	4,37
	SOMO-3-11(<2U)-N°4	6,62	1,38	1,62	3,00	1,31	1,42	0,16	0,00	0,83	0,08	-0,38	1,00	0,99	4,51
	SOMO-3-11(<2U)-N°5	5,88	2,12	1,16	3,28	1,49	1,68	0,31	0,00	1,33	0,04	-0,74	1,38	1,41	4,64
	SOMO-3-11(<2U)-N°6	7,17	0,83	2,98	3,81	0,50	0,42	0,00	0,00	1,39	0,13	0,80	1,63	1,65	3,90
	SOMO-3-11(<2U)-N°7	7,81	0,19	3,09	3,28	0,91	0,15	0,00	0,00	0,04	0,31	0,46	0,65	0,66	4,15
	SOMO-3-11(<2U)-N°8	7,81	0,19	3,09	3,28	0,92	0,12	0,00	0,02	0,01	0,34	0,53	0,72	0,71	4,13
	SOMO-3-11(<2U)-N°9	6,48	1,52	3,49	5,01	0,35	0,25	0,01	0,08	1,39	0,04	0,04	1,56	1,55	4,10
	SOMO-4-5(<2U)-N°1	7,91	0,09	3,13	3,22	0,95	0,05	0,00	0,00	0,04	0,32	0,56	0,65	0,68	4,13
T2	SOMO-4-5(<2U)-N°2	7,82	0,18	3,09	3,27	0,89	0,13	0,00	0,00	0,03	0,36	0,56	0,74	0,75	4,11
	SOMO-4-5(<2U)-N°3	6,98	1,02	2,94	3,96	0,47	0,76	0,08	0,02	0,26	0,18	-0,36	0,66	0,64	4,25
	SOMO-4-5(<2U)-N°4	6,52	1,48	3,84	5,32	0,15	0,43	0,01	0,06	0,09	0,09	-1,15	0,33	0,33	4,43
	SOMO-4-5(<2U)-N°5	6,22	1,78	1,26	3,04	1,25	1,82	0,21	0,06	0,95	0,08	-0,58	1,20	1,17	4,54
	SOMO-4-5(<2U)-N°6	7,12	0,88	2,48	3,36	0,72	1,01	0,02	0,07	0,44	0,19	0,01	0,89	0,89	4,23
	SOMO-4-5(<2U)-N°7	6,87	1,13	1,89	3,02	1,29	1,32	0,00	0,00	0,47	0,21	-0,21	0,92	0,89	4,50
	SOMO-4-5(<2U)-N°8	6,25	1,75	1,02	2,77	1,64	2,11	0,00	0,04	0,82	0,11	-0,67	1,08	1,08	4,77
	SOMO-4-5(<2U)-N°9	6,08	1,92	0,79	2,71	2,05	2,05	0,00	0,08	1,04	0,08	-0,62	1,30	1,28	4,89

(Continuación)

Tramo	Muestra-Analisis	Si	Al(tetra)	Al(octa)	Al (Total)	Mg	Fe3+	Ti	Na	K	Ca	Q octa	Q Lamina	Q Interlaminar	Cationes octa
T3	SOMO-N-4.1(<2U)-N°1	6,13	1,87	2,37	4,24	1,15	0,98	0,19	0,00	0,69	0,04	-1,11	0,76	0,77	4,69
	SOMO-N-4.1(<2U)-N°2	7,14	0,86	3,04	3,90	0,61	0,61	0,03	0,00	0,12	0,21	-0,29	0,57	0,54	4,29
	SOMO-N-4.1(<2U)-N°3	6,32	1,68	3,97	5,65	0,14	0,16	0,00	0,00	0,89	0,05	-0,67	1,01	0,99	4,27
	SOMO-N-4.1(<2U)-N°4	6,91	1,09	3,52	4,61	0,48	0,36	0,01	0,00	0,16	0,15	-0,64	0,45	0,46	4,37
	SOMO-N-4.1(<2U)-N°5	7,52	0,48	2,86	3,34	0,62	0,67	0,02	0,00	0,11	0,24	0,09	0,57	0,59	4,17
	SOMO-N-4.1(<2U)-N°6	7,71	0,29	3,14	3,43	0,51	0,47	0,00	0,00	0,13	0,14	0,15	0,44	0,41	4,12
	SOMO-N-4.1(<2U)-N°7	5,91	2,09	0,79	2,88	1,61	2,03	0,31	0,00	1,10	0,04	-0,92	1,17	1,18	4,74
	SOMO-N-4.1(<2U)-N°8	7,91	0,09	3,26	3,35	0,86	0,03	0,00	0,00	0,02	0,24	0,41	0,50	0,50	4,15
T3 (Ce)	SOMO-N-4.6(<2U)-N°1	6,79	1,21	2,92	4,13	0,78	0,42	0,01	0,06	1,48	0,02	0,38	1,59	1,58	4,13
	SOMO-N-4.6(<2U)-N°2	6,96	1,04	2,39	3,43	0,74	0,96	0,06	0,00	0,32	0,47	0,23	1,27	1,26	4,15
	SOMO-N-4.6(<2U)-N°3	6,97	1,03	2,38	3,41	0,73	0,98	0,06	0,03	0,20	0,52	0,22	1,25	1,27	4,15
	SOMO-N-4.6(<2U)-N°4	7,05	0,95	2,98	3,93	0,41	0,82	0,02	0,03	0,15	0,23	-0,30	0,65	0,64	4,23
	SOMO-N-4.6(<2U)-N°5	7,23	0,77	2,59	3,36	0,68	0,85	0,01	0,12	0,63	0,15	0,28	1,05	1,05	4,13
	SOMO-N-4.6(<2U)-N°6	7,10	0,90	2,36	3,26	0,61	1,09	0,03	0,12	0,79	0,15	0,31	1,21	1,21	4,09
	SOMO-N-4.6(<2U)-N°7	7,09	0,91	3,13	4,04	0,63	0,38	0,01	0,18	0,27	0,31	0,17	1,08	1,07	4,15
	SOMO-N-4.6(<2U)-N°8	7,22	0,78	3,08	3,86	0,59	0,47	0,01	0,11	0,29	0,25	0,13	0,91	0,90	4,15
	SOMO-N-4.6(<2U)-N°9	7,41	0,59	2,87	3,46	0,60	0,62	0,03	0,16	0,46	0,09	0,21	0,80	0,80	4,12
	SOMO-N-4.6(<2U)-N°10	7,25	0,75	3,68	4,43	0,15	0,28	0,05	0,07	0,07	0,12	-0,38	0,37	0,38	4,16
T4	SOMO-6-3(<2U)-N°1	7,23	0,77	2,45	3,22	0,61	0,96	0,03	0,25	0,63	0,16	0,43	1,20	1,20	4,05
	SOMO-6-3(<2U)-N°2	6,90	1,10	2,70	3,80	0,68	0,77	0,07	0,11	0,62	0,16	-0,05	1,05	1,05	4,22
	SOMO-6-3(<2U)-N°3	7,81	0,19	2,94	3,13	0,61	0,45	0,01	0,08	0,05	0,31	0,57	0,76	0,75	4,01
	SOMO-6-3(<2U)-N°4	7,91	0,09	3,06	3,15	0,79	0,12	0,01	0,06	0,12	0,37	0,84	0,93	0,92	3,98
	SOMO-6-3(<2U)-N°5	7,35	0,65	2,84	3,49	0,46	0,68	0,05	0,26	0,59	0,06	0,32	0,97	0,97	4,03
	SOMO-6-3(<2U)-N°6	7,84	0,16	3,13	3,29	0,77	0,22	0,00	0,02	0,07	0,24	0,41	0,57	0,57	4,12
	SOMO-6-3(<2U)-N°7	7,26	0,74	3,37	4,11	0,35	0,42	0,00	0,05	0,13	0,25	-0,07	0,67	0,68	4,14
	SOMO-6-2(<2U)-N°1	7,31	0,69	2,45	3,14	0,81	0,87	0,04	0,16	0,54	0,12	0,26	0,95	0,94	4,17
T4	SOMO-6-2(<2U)-N°2	7,41	0,59	2,80	3,39	0,53	0,68	0,03	0,05	0,70	0,11	0,38	0,97	0,97	4,04
	SOMO-6-2(<2U)-N°3	7,12	0,88	1,74	2,62	0,86	1,46	0,11	0,05	0,84	0,11	0,24	1,12	1,11	4,17
	SOMO-6-2(<2U)-N°4	7,82	0,18	2,96	3,14	0,85	0,18	0,00	0,00	0,27	0,39	0,88	1,06	1,05	3,99
	SOMO-6-2(<2U)-N°5	7,09	0,91	2,06	2,97	0,91	1,03	0,02	0,00	1,35	0,19	0,83	1,74	1,73	4,02
	SOMO-6-2(<2U)-N°6	7,22	0,78	2,17	2,95	0,97	0,82	0,04	0,02	1,12	0,28	0,93	1,71	1,70	4,00
	SOMO-6-2(<2U)-N°7	7,14	0,86	2,80	3,66	0,46	0,78	0,02	0,19	0,75	0,09	0,26	1,12	1,12	4,06
	SOMO-6-5(<2U)-N°1	6,98	1,02	2,64	3,66	0,89	0,55	0,04	0,01	1,44	0,02	0,49	1,51	1,49	4,12
	SOMO-6-5(<2U)-N°2	7,16	0,84	1,91	2,75	0,88	1,19	0,02	0,00	1,25	0,22	0,86	1,70	1,69	4,00
T5	SOMO-6-5(<2U)-N°3	7,10	0,90	2,36	3,26	0,61	1,15	0,03	0,10	0,69	0,12	0,13	1,03	1,03	4,15
	SOMO-6-5(<2U)-N°4	7,02	0,98	2,09	3,07	0,64	1,41	0,04	0,06	0,77	0,11	0,06	1,04	1,05	4,18
	SOMO-6-5(<2U)-N°5	6,92	1,08	2,34	3,42	0,77	1,06	0,05	0,12	0,58	0,22	0,06	1,14	1,14	4,22
	SOMO-6-5(<2U)-N°6	7,75	0,25	2,74	2,99	0,77	0,51	0,00	0,09	0,14	0,37	0,71	0,96	0,97	4,02
	SOMO-7-1(<2U)-N°1	7,16	0,84	2,91	3,75	0,71	0,40	0,02	0,00	1,40	0,01	0,57	1,41	1,42	4,04
T6?	SOMO-7-1(<2U)-N°2	7,35	0,65	2,94	3,59	0,84	0,37	0,03	0,19	0,46	0,14	0,27	0,92	0,93	4,18
	SOMO-7-1(<2U)-N°3	6,69	1,31	2,89	4,20	0,69	0,38	0,04	0,22	1,67	0,04	0,65	1,96	1,97	4,00
	SOMO-7-1(<2U)-N°4	6,78	1,22	1,96	3,18	1,16	1,20	0,00	0,00	1,12	0,14	0,20	1,42	1,40	4,32
	SOMO-7-1(<2U)-N°5	7,33	0,67	2,83	3,50	0,59	0,71	0,04	0,00	0,14	0,28	0,04	0,71	0,70	4,17
	SOMO-7-1(<2U)-N°6	7,40	0,60	2,87	3,47	0,81	0,49	0,00	0,00	0,48	0,21	0,30	0,90	0,90	4,17
	SOMO-7-1(<2U)-N°7	6,45	1,55	2,08	3,63	0,75	1,22	0,09	0,12	1,49	0,09	0,24	1,79	1,79	4,14

Datos de composición química de arcillas de muestras de Húmera obtenidas mediante AEM-MET.

Tramo	Muestra-Análisis	Si	Al(tetra)	Al(octa)	Al (Total)	Mg	Fe3+	Ti	Na	K	Ca	Q octa	Q Lamina	Q Interlaminar	Cationes octa
HI	HN-1-1(<2U)-Nº1	6,49	1,51	3,12	4,63	0,56	0,41	0,02	0,27	1,28	0,09	0,21	1,72	1,73	4,11
	HN-1-1(<2U)-Nº2	6,71	1,29	3,19	4,48	0,59	0,29	0,03	0,12	1,30	0,07	0,26	1,55	1,56	4,10
	HN-1-1(<2U)-Nº3	6,91	1,09	2,77	3,86	0,85	0,54	0,01	0,22	0,99	0,11	0,33	1,42	1,43	4,17
	HN-1-1(<2U)-Nº4	6,68	1,32	2,01	3,33	1,24	1,02	0,07	0,44	0,75	0,14	0,15	1,47	1,47	4,34
	HN-1-1(<2U)-Nº5	7,80	0,20	2,93	3,13	0,92	0,28	0,00	0,31	0,10	0,16	0,53	0,73	0,73	4,13
	HN-1-1(<2U)-Nº6	7,62	0,38	2,88	3,26	0,90	0,30	0,00	0,43	0,21	0,19	0,66	1,04	1,02	4,08
	HN-1-1(<2U)-Nº7	7,48	0,52	2,71	3,23	0,95	0,37	0,04	0,27	0,35	0,31	0,70	1,22	1,24	4,07
	HN-1-1(<2U)-Nº8	7,26	0,74	2,20	2,94	1,23	0,83	0,02	0,27	0,50	0,15	0,37	1,11	1,07	4,28
	HN-1-1(<2U)-Nº9	5,69	2,31	1,00	3,31	1,18	1,96	0,33	0,25	1,47	0,03	-0,56	1,75	1,78	4,47
	HN-1-1(<2U)-Nº10	5,58	2,42	0,24	2,66	1,61	2,53	0,29	0,16	1,51	0,05	-0,69	1,73	1,77	4,67
	HN-1-1(<2U)-Nº11	6,61	1,39	1,47	2,86	1,11	1,44	0,19	0,34	1,00	0,16	0,29	1,68	1,66	4,21
	HN-1-1(<2U)-Nº12	7,97	0,03	2,99	3,02	0,46	0,11	0,02	0,00	1,24	0,24	1,70	1,73	1,72	3,58
	HN-1-1(<2U)-Nº13	7,22	0,78	2,78	3,56	0,57	0,78	0,00	0,00	0,20	0,35	0,18	0,96	0,90	4,13
	HN-1-1(<2U)-Nº14	7,74	0,26	3,00	3,26	0,91	0,25	0,00	0,00	0,03	0,32	0,43	0,69	0,67	4,16
HII	HN-1-2(<2U)-Nº1	7,74	0,26	3,07	3,33	0,72	0,15	0,00	0,85	0,00	0,17	0,90	1,16	1,19	3,94
	HN-1-2(<2U)-Nº2	7,66	0,34	3,17	3,51	0,93	0,03	0,01	0,27	0,20	0,20	0,50	0,84	0,87	4,14
	HN-1-2(<2U)-Nº3	7,72	0,28	2,90	3,18	0,93	0,26	0,02	0,16	0,30	0,21	0,58	0,86	0,88	4,11
	HN-1-2(<2U)-Nº4	7,69	0,31	3,04	3,35	0,96	0,14	0,00	0,25	0,20	0,21	0,54	0,85	0,87	4,14
	HN-1-2(<2U)-Nº5	7,43	0,57	2,82	3,39	0,90	0,38	0,02	0,22	0,34	0,26	0,52	1,09	1,08	4,12
	HN-1-2(<2U)-Nº6	7,78	0,22	3,01	3,23	0,89	0,11	0,01	0,27	0,35	0,21	0,82	1,04	1,04	4,02
	HN-1-2(<2U)-Nº7	6,63	1,37	3,22	4,59	0,61	0,27	0,01	0,25	1,30	0,04	0,27	1,64	1,63	4,11
	HN-1-2(<2U)-Nº8	7,65	0,35	2,83	3,18	0,89	0,36	0,01	0,24	0,26	0,22	0,61	0,96	0,94	4,09
	HN-1-2(<2U)-Nº9	7,33	0,67	2,56	3,23	0,79	0,69	0,05	0,29	0,43	0,19	0,47	1,14	1,10	4,09
	HN-1-2(<2U)-Nº10	6,04	1,96	0,82	2,78	1,64	1,99	0,13	0,27	1,37	0,04	-0,23	1,73	1,72	4,58
	HN-1-2(<2U)-Nº11	6,09	1,91	0,99	2,90	1,39	1,79	0,27	0,37	1,20	0,09	-0,20	1,71	1,75	4,44
	HN-1-2(<2U)-Nº12	7,71	0,29	2,86	3,15	1,03	0,18	0,00	0,34	0,29	0,22	0,82	1,11	1,07	4,07
	HN-1-2(<2U)-Nº13	6,89	1,11	2,15	3,26	1,00	0,94	0,11	0,33	0,81	0,12	0,29	1,40	1,38	4,20
	HN-1-2(<2U)-Nº14	6,33	1,67	3,37	5,04	0,41	0,24	0,02	0,26	1,62	0,03	0,27	1,94	1,94	4,04
	HN-1-2(<2U)-Nº15	7,75	0,25	2,94	3,19	0,96	0,20	0,01	0,25	0,24	0,19	0,62	0,87	0,87	4,11
HII2	HN-2-1(<2U)-Nº1	7,54	0,46	2,75	3,21	1,13	0,29	0,00	0,31	0,40	0,19	0,62	1,08	1,09	4,17
	HN-2-1(<2U)-Nº2	6,08	1,92	1,08	3,00	1,46	1,79	0,18	0,22	1,26	0,09	-0,25	1,67	1,66	4,51
	HN-2-1(<2U)-Nº3	7,75	0,25	2,91	3,16	0,82	0,36	0,00	0,02	0,04	0,37	0,55	0,80	0,80	4,09
	HN-2-1(<2U)-Nº4	6,13	1,87	2,37	4,24	1,15	0,98	0,19	0,03	0,67	0,04	-1,11	0,76	0,78	4,69
	HN-2-1(<2U)-Nº5	5,90	2,10	0,79	2,89	1,60	2,03	0,31	0,06	1,14	0,00	-0,90	1,20	1,20	4,73
	HN-2-1(<2U)-Nº6	7,36	0,64	2,86	3,50	0,92	0,41	0,01	0,25	0,36	0,16	0,31	0,95	0,93	4,20
	HN-2-1(<2U)-Nº7	7,33	0,67	3,18	3,85	0,77	0,15	0,03	0,24	0,44	0,17	0,35	1,02	1,02	4,13
	HN-2-1(<2U)-Nº8	7,35	0,65	3,11	3,76	0,90	0,16	0,01	0,30	0,38	0,16	0,35	1,00	1,00	4,18
	HN-2-1(<2U)-Nº9	7,42	0,58	2,98	3,56	1,01	0,22	0,01	0,24	0,25	0,21	0,34	0,92	0,91	4,22
	HN-2-1(<2U)-Nº10	5,88	2,12	1,16	3,28	1,49	1,68	0,30	0,00	1,33	0,04	-0,70	1,42	1,41	4,63
	HN-2-1(<2U)-Nº11	5,56	2,44	0,36	2,80	1,90	2,15	0,27	0,32	1,58	0,06	-0,41	2,03	2,02	4,68
	HN-2-1(<2U)-Nº12	6,87	1,13	3,00	4,13	0,62	0,49	0,04	0,26	0,77	0,11	0,13	1,26	1,25	4,15
	HN-2-1(<2U)-Nº13	7,37	0,63	2,80	3,43	0,97	0,36	0,03	0,29	0,33	0,24	0,46	1,09	1,10	4,16
	HN-2-1(<2U)-Nº14	7,35	0,65	2,91	3,56	0,86	0,35	0,02	0,22	0,43	0,22	0,42	1,07	1,09	4,14
	HN-2-1(<2U)-Nº15	6,99	1,01	2,15	3,16	0,68	1,29	0,02	0,30	0,76	0,10	0,24	1,25	1,26	4,14
HII2	HN-2-2(<2U)-Nº1	6,18	1,82	0,82	2,64	2,01	2,04	0,00	0,08	1,00	0,08	-0,60	1,22	1,24	4,87
	HN-2-2(<2U)-Nº2	6,25	1,75	1,02	2,77	1,64	2,11	0,00	0,06	0,82	0,10	-0,67	1,08	1,08	4,77
	HN-2-2(<2U)-Nº3	6,52	1,48	3,82	5,30	0,15	0,43	0,00	0,07	0,15	0,10	-1,05	0,43	0,42	4,40
	HN-2-2(<2U)-Nº4	5,50	2,50	0,82	3,32	2,61	1,66	0,19	0,25	0,66	0,08	-1,42	1,08	1,07	5,28
	HN-2-2(<2U)-Nº5	6,15	1,85	1,26	3,11	1,93	1,47	0,15	0,31	0,67	0,11	-0,65	1,20	1,20	4,81
	HN-2-2(<2U)-Nº6	7,26	0,74	2,60	3,34	0,86	0,58	0,04	0,38	0,42	0,26	0,58	1,32	1,32	4,08
	HN-2-2(<2U)-Nº7	7,38	0,62	2,82	3,44	0,84	0,48	0,03	0,21	0,35	0,18	0,30	0,92	0,92	4,17
	HN-2-2(<2U)-Nº8	7,02	0,98	2,76	3,74	0,61	0,76	0,02	0,13	0,68	0,15	0,14	1,12	1,11	4,15
	HN-2-2(<2U)-Nº9	7,18	0,82	2,74	3,56	0,83	0,57	0,05	0,34	0,31	0,18	0,21	1,03	1,01	4,19
	HN-2-2(<2U)-Nº10	7,14	0,86	2,65	3,51	0,81	0,71	0,00	0,37	0,46	0,17	0,30	1,16	1,17	4,17
	HN-2-2(<2U)-Nº11	7,90	0,10	3,12	3,22	0,95	0,05	0,00	0,00	0,04	0,32	0,59	0,69	0,68	4,12
	HN-2-2(<2U)-Nº12	7,17	0,83	2,74	3,57	0,86	0,47	0,15	0,18	0,33	0,19	0,05	0,88	0,89	4,22
	HN-2-2(<2U)-Nº13	7,25	0,75	2,86	3,61	0,82	0,47	0,01	0,38	0,38	0,15	0,33	1,08	1,06	4,16
	HN-2-2(<2U)-Nº14	6,64	1,36	2,48	3,84	0,59	1,08	0,07	0,30	0,70	0,09	-0,14	1,22	1,18	4,22
HII2	HN-2-3(<2U)-Nº1	6,72	1,28	3,88	5,16	0,17	0,23	0,01	0,22	0,16	0,11	-0,71	0,57	0,60	4,29
	HN-2-3(<2U)-Nº2	7,09	0,91	3,07	3,98	0,53	0,64	0,03	0,10	0,16	0,16	-0,31	0,60	0,58	4,27
	HN-2-3(<2U)-Nº3	6,22	1,78	1,26	3,04	1,25	1,82	0,21	0,06	0,95	0,08	-0,58	1,20	1,17	4,54
	HN-2-3(<2U)-Nº4	5,53	2,47	0,42	2,89	1,95	2,10	0,25	0,27	1,64	0,06	-0,46	2,01	2,03	4,72
	HN-2-3(<2U)-Nº5	7,92	0,08	2,81	2,89	0,87	0,36	0,04	0,00	0,04	0,32	0,59	0,67	0,68	4,08

(Continuación)

Tramo	Muestra-Analisis	Si	Al(tetra)	Al(octa)	Al (Total)	Mg	Fe3+	Ti	Na	K	Ca	Q octa	Q Lamina	Q Interlaminar	Cationes octa
H3	HN-3(<0,5)-N°1	6,55	1,45	3,86	5,31	0,01	0,33	0,15	0,08	0,09	0,05	-1,19	0,26	0,27	4,35
	HN-3(<0,5)-N°2	7,41	0,59	2,48	3,07	0,53	0,95	0,07	0,24	0,41	0,15	0,37	0,96	0,95	4,03
	HN-3(<0,5)-N°3	7,49	0,51	2,26	2,77	0,50	1,32	0,00	0,26	0,35	0,10	0,26	0,77	0,81	4,08
	HN-3(<0,5)-N°4	7,88	0,12	2,67	2,79	0,06	1,03	0,08	0,07	0,31	0,10	0,46	0,58	0,58	3,84
	HN-3(<0,5)-N°5	6,99	1,01	3,64	4,65	0,00	0,29	0,00	0,37	0,72	0,07	0,21	1,22	1,23	3,93
	HN-3(<0,5)-N°6	4,08	0,00	3,64	3,64	0,00	0,23	0,00	0,00	0,02	0,03	0,39	0,07	0,08	3,87
	HN-3(<0,5)-N°7	6,98	1,02	2,94	3,96	0,47	0,76	0,08	0,02	0,26	0,18	-0,36	0,66	0,64	4,25
	HN-3(<0,5)-N°8	7,20	0,80	2,85	3,65	0,77	0,61	0,01	0,32	0,32	0,12	0,04	0,84	0,88	4,24
H3	HN-3(<2U)-N°1	7,12	0,88	2,42	3,30	0,85	0,83	0,06	0,36	0,45	0,20	0,31	1,19	1,21	4,16
	HN-3(<2U)-N°2	6,06	1,94	3,47	5,41	0,26	0,24	0,09	0,34	1,47	0,07	-0,01	1,93	1,95	4,06
	HN-3(<2U)-N°3	6,20	1,80	3,34	5,14	0,34	0,33	0,07	0,38	1,28	0,08	0,03	1,83	1,82	4,08
	HN-3(<2U)-N°4	7,15	0,85	2,51	3,36	0,84	0,73	0,09	0,36	0,44	0,15	0,24	1,09	1,10	4,17
	HN-3(<2U)-N°5	6,98	1,02	3,13	4,15	0,56	0,52	0,03	0,31	0,30	0,10	-0,19	0,83	0,81	4,24
	HN-3(<2U)-N°6	6,35	1,65	2,98	4,63	0,89	0,75	0,04	0,04	0,24	0,11	-1,13	0,52	0,50	4,66
H4	HN-4(<2U)-N°1	7,26	0,74	3,13	3,87	0,79	0,28	0,03	0,29	0,32	0,09	0,07	0,81	0,79	4,23
	HN-4(<2U)-N°2	6,19	1,81	3,40	5,21	0,31	0,33	0,05	0,37	1,43	0,02	-0,01	1,80	1,84	4,09
	HN-4(<2U)-N°3	6,52	1,48	3,14	4,62	0,55	0,43	0,04	0,36	1,08	0,04	0,03	1,51	1,52	4,16
	HN-4(<2U)-N°4	6,41	1,59	3,37	4,96	0,41	0,37	0,04	0,22	1,00	0,09	-0,20	1,39	1,40	4,19
	HN-4(<2U)-N°5	5,77	2,23	1,12	3,35	1,37	1,86	0,17	0,40	1,34	0,07	-0,36	1,87	1,88	4,52
	HN-4(<2U)-N°6	6,16	1,84	1,55	3,39	1,40	1,31	0,25	0,22	1,07	0,06	-0,38	1,46	1,41	4,51
	HN-4(<2U)-N°7	6,55	1,45	1,80	3,25	1,12	1,32	0,10	0,38	0,86	0,10	0,00	1,45	1,44	4,34
	HN-4(<2U)-N°8	7,09	0,91	2,86	3,77	0,73	0,57	0,06	0,22	0,41	0,14	0,01	0,92	0,91	4,22
	HN-4(<2U)-N°9	7,55	0,45	3,05	3,50	0,83	0,23	0,01	0,47	0,26	0,09	0,46	0,91	0,91	4,12
	HN-4(<2U)-N°10	6,20	1,80	1,29	3,09	1,10	1,99	0,02	0,36	1,09	0,10	-0,12	1,68	1,65	4,40
	HN-4(<2U)-N°11	7,53	0,47	3,06	3,53	0,89	0,13	0,01	0,47	0,37	0,11	0,61	1,08	1,06	4,09
	HN-4(<2U)-N°12	6,48	1,52	3,49	5,01	0,35	0,25	0,01	0,08	1,39	0,04	0,04	1,56	1,55	4,10
	HN-4(<2U)-N°13	6,86	1,14	3,64	4,78	0,31	0,05	0,00	0,18	1,23	0,01	0,31	1,45	1,43	4,00

Datos de composición química de micas de muestras de Somosaguas obtenidas mediante M.E.

Tramo	Muestra-Analysis	Si	Al tetra	Al octa	Al (total)	Mg	Ni2+	Ti4+	Mn2+	Fe2+	K	Ca	Na	Q Octa	Q Lamina	Q Interlaminar	Cationes Octa
T2	SOMO-S-2-N°1	5,75	2,25	1,10	3,35	1,82	0,00	0,38	0,03	2,09	1,55	0,02	0,01	-0,70	1,55	1,60	5,42
	SOMO-S-2-N°2	7,03	0,97	3,01	3,98	0,60	0,00	0,10	0,00	0,34	1,54	0,03	0,08	0,69	1,66	1,68	4,05
	SOMO-S-2-N°3	5,67	2,33	1,12	3,45	1,72	0,00	0,34	0,03	2,08	1,75	0,08	0,01	-0,38	1,95	1,92	5,29
	SOMO-S-2-N°4	6,18	1,82	1,16	2,98	1,34	0,01	0,38	0,03	2,25	1,39	0,08	0,03	-0,26	1,56	1,58	5,17
	SOMO-S-2-N°5	5,98	2,02	0,64	2,66	1,55	0,01	0,35	0,04	2,86	1,69	0,05	0,01	-0,24	1,78	1,80	5,45
	SOMO-S-2-N°6	5,93	2,07	0,82	2,89	1,61	0,00	0,33	0,03	2,61	1,70	0,03	0,01	-0,28	1,79	1,77	5,40
	SOMO-S-2-N°7	6,20	1,80	3,70	5,50	0,16	0,00	0,02	0,01	0,16	1,78	0,00	0,19	0,16	1,96	1,97	4,05
	SOMO-S-2-N°8	6,18	1,82	3,63	5,45	0,20	0,00	0,03	0,02	0,20	1,80	0,00	0,16	0,15	1,97	1,96	4,08
	SOMO-S-2-N°9	5,99	2,01	0,96	2,97	1,52	0,00	0,39	0,03	2,35	1,69	0,03	0,01	-0,24	1,77	1,76	5,25
	SOMO-S-2-N°10	6,00	2,00	0,94	2,94	1,53	0,00	0,34	0,04	2,47	1,65	0,04	0,01	-0,26	1,74	1,74	5,32
	SOMO-S-2-N°11	5,69	2,31	0,92	3,23	1,55	0,00	0,35	0,04	2,54	1,84	0,02	0,02	-0,42	1,89	1,90	5,40
	SOMO-S-2-N°12	5,72	2,28	0,93	3,21	1,60	0,00	0,37	0,03	2,48	1,70	0,04	0,01	-0,49	1,79	1,79	5,41
T2	SOMO-S-6-N°1	6,01	1,99	0,83	2,82	1,60	0,00	0,40	0,04	2,44	1,67	0,04	0,02	-0,25	1,74	1,77	5,31
	SOMO-S-6-N°2	6,09	1,91	1,28	3,19	1,57	0,00	0,37	0,03	1,90	1,49	0,05	0,01	-0,32	1,59	1,60	5,15
	SOMO-S-6-N°3	5,92	2,08	1,18	3,26	1,63	0,00	0,38	0,03	1,99	1,58	0,05	0,01	-0,36	1,72	1,69	5,21
	SOMO-S-6-N°4	6,21	1,79	1,06	2,85	1,34	0,00	0,37	0,03	2,38	1,48	0,06	0,02	-0,16	1,63	1,62	5,18
	SOMO-S-6-N°5	5,72	2,28	0,96	3,24	1,55	0,00	0,39	0,05	2,43	1,75	0,02	0,01	-0,50	1,78	1,80	5,38
	SOMO-S-6-N°6	5,90	2,10	1,08	3,18	1,52	0,00	0,35	0,03	2,30	1,69	0,02	0,02	-0,34	1,76	1,75	5,28
	SOMO-S-6-N°7	5,99	2,01	1,00	3,01	1,65	0,00	0,39	0,04	2,18	1,66	0,03	0,01	-0,30	1,71	1,73	5,26
	SOMO-S-6-N°8	6,18	1,82	1,06	2,88	1,65	0,00	0,33	0,01	2,20	1,40	0,09	0,01	-0,22	1,6	1,59	5,25
	SOMO-S-6-N°9	6,81	1,19	1,54	2,73	1,31	0,00	0,01	0,01	2,29	0,94	0,18	0,02	0,12	1,31	1,32	5,16
	SOMO-S-6-N°10	6,78	1,22	1,44	2,66	1,42	0,00	0,02	0,02	2,36	0,94	0,15	0,01	0,00	1,22	1,25	5,26
	SOMO-S-6-N°11	6,55	1,45	1,55	3,00	1,38	0,00	0,30	0,03	1,68	1,21	0,09	0,02	-0,03	1,42	1,41	4,94
	SOMO-S-6-N°12	5,64	2,36	1,21	3,57	1,67	0,00	0,39	0,02	2,01	1,69	0,04	0,01	-0,59	1,77	1,78	5,30
T2	SOMO-S-10-N°1	5,72	2,28	0,89	3,17	1,88	0,00	0,47	0,02	2,03	1,88	0,01	0,00	-0,41	1,87	1,90	5,29
	SOMO-S-10-N°2	5,72	2,28	0,87	3,15	1,72	0,00	0,48	0,03	2,19	1,86	0,02	0,01	-0,41	1,87	1,91	5,29
	SOMO-S-10-N°3	5,68	2,32	1,00	3,32	1,62	0,00	0,44	0,02	2,20	1,85	0,02	0,00	-0,44	1,88	1,89	5,28
	SOMO-S-10-N°4	5,91	2,09	1,19	3,28	1,73	0,00	0,33	0,03	1,95	1,71	0,03	0,02	-0,31	1,78	1,79	5,23
	SOMO-S-10-N°5	5,60	2,40	1,02	3,42	1,85	0,00	0,43	0,03	2,05	1,71	0,01	0,01	-0,64	1,76	1,74	5,38
	SOMO-S-10-N°6	6,22	1,78	3,60	5,38	0,16	0,00	0,04	0,02	0,26	1,83	0,00	0,09	0,16	1,94	1,92	4,08
	SOMO-S-10-N°7	5,87	2,13	1,19	3,32	1,69	0,00	0,40	0,03	1,84	1,74	0,04	0,00	-0,29	1,84	1,82	5,15
	SOMO-S-10-N°8	5,65	2,35	1,05	3,40	1,78	0,00	0,40	0,03	2,06	1,81	0,02	0,05	-0,49	1,86	1,90	5,32
	SOMO-S-10-N°9	5,81	2,19	1,20	3,39	1,80	0,00	0,31	0,05	1,94	1,64	0,04	0,02	-0,42	1,77	1,74	5,30
	SOMO-S-10-N°10	6,31	1,69	3,59	5,28	0,15	0,00	0,03	0,05	0,24	1,76	0,01	0,16	0,23	1,92	1,94	4,06
	SOMO-S-10-N°11	5,94	2,06	0,60	2,66	1,70	0,00	0,45	0,03	2,59	1,77	0,03	0,00	-0,24	1,82	1,83	5,37
	SOMO-S-10-N°12	5,99	2,01	0,73	2,74	1,64	0,00	0,41	0,03	2,49	1,78	0,04	0,01	-0,15	1,86	1,87	5,30
T2	SOMO-3-3-N°1	5,78	2,22	1,11	3,33	1,68	0,00	0,39	0,04	2,09	1,66	0,04	0,01	-0,51	1,71	1,75	5,31
	SOMO-3-3-N°2	5,58	2,42	0,99	3,41	1,68	0,00	0,42	0,03	2,30	1,66	0,02	0,02	-0,67	1,75	1,72	5,42
	SOMO-3-3-N°3	6,30	1,70	1,68	3,38	1,32	0,00	0,35	0,01	1,66	1,21	0,04	0,01	-0,42	1,28	1,30	5,02
	SOMO-3-3-N°4	5,97	2,03	1,32	3,35	1,53	0,00	0,37	0,03	1,91	1,56	0,05	0,01	-0,38	1,65	1,67	5,16
	SOMO-3-3-N°5	5,60	2,40	1,22	3,62	1,55	0,00	0,41	0,04	2,09	1,71	0,03	0,00	-0,66	1,74	1,77	5,31
	SOMO-3-3-N°6	5,81	2,19	1,45	3,64	0,79	0,00	0,25	0,05	2,62	1,86	0,02	0,02	-0,27	1,92	1,92	5,16
	SOMO-3-3-N°7	5,78	2,22	1,44	3,66	0,79	0,00	0,24	0,07	2,67	1,81	0,02	0,02	-0,34	1,88	1,87	5,21
	SOMO-3-3-N°8	5,95	2,05	1,62	3,67	0,76	0,00	0,23	0,05	2,49	1,60	0,03	0,02	-0,38	1,67	1,68	5,15
	SOMO-3-3-N°9	6,10	1,90	1,68	3,58	0,78	0,00	0,20	0,05	2,36	1,60	0,03	0,04	-0,22	1,68	1,70	5,07
	SOMO-3-3-N°10	5,84	2,16	1,61	3,77	0,80	0,00	0,23	0,05	2,50	1,65	0,02	0,03	-0,45	1,71	1,72	5,19
	SOMO-3-3-N°11	6,06	1,94	1,51	3,45	0,76	0,00	0,23	0,05	2,52	1,77	0,02	0,02	-0,11	1,83	1,83	5,07
	SOMO-3-3-N°12	6,20	1,80	3,58	5,38	0,21	0,00	0,03	0,05	0,22	1,80	0,00	0,15	0,18	1,98	1,95	4,09
T2	SOMO-3-7-N°1	5,62	2,38	0,89	3,27	2,06	0,00	0,38	0,04	2,07	1,80	0,02	0,01	-0,53	1,85	1,85	5,44
	SOMO-3-7-N°2	6,03	1,97	1,23	3,20	1,38	0,00	0,34	0,03	2,26	1,50	0,05	0,01	-0,39	1,58	1,61	5,24
	SOMO-3-7-N°3	5,70	2,30	1,01	3,31	1,34	0,00	0,42	0,02	2,48	1,84	0,00	0,08	-0,39	1,91	1,92	5,27
	SOMO-3-7-N°4	6,03	1,97	1,08	3,05	1,45	0,00	0,36	0,03	2,35	1,53	0,05	0,03	-0,34	1,63	1,66	5,27
	SOMO-3-7-N°5	5,62	2,38	0,82	3,20	1,53	0,00	0,39	0,04	2,63	1,87	0,02	0,03	-0,42	1,96	1,94	5,41
	SOMO-3-7-N°6	5,93	2,07	1,02	3,09	1,40	0,00	0,35	0,03	2,47	1,72	0,05	0,02	-0,26	1,81	1,84	5,27
	SOMO-3-7-N°7	5,92	2,08	0,62	2,70	1,59	0,00	0,39	0,03	2,78	1,78	0,03	0,00	-0,22	1,86	1,84	5,41
	SOMO-3-7-N°8	6,22	1,78	0,84	2,62	1,42	0,00	0,34	0,04	2,66	1,53	0,06	0,01	-0,12	1,66	1,66	5,30
	SOMO-3-7-N°9	5,73	2,27	1,22	3,49	1,47	0,00	0,37	0,03	2,27	1,46	0,06	0,03	-0,68	1,59	1,61	5,36
	SOMO-3-7-N°10	5,92	2,08	1,12	3,20	1,73	0,00	0,32	0,03	2,12	1,60	0,04	0,01	-0,40	1,68	1,69	5,32
	SOMO-3-7-N°11	6,46	1,54	3,43	4,97	0,12	0,00	0,10	0,03	0,41	1,72	0,00	0,00	0,19	1,73	1,72	4,09
	SOMO-3-7-N°12	6,63	1,37	3,31	4,68	0,11	0,00	0,11	0,04	0,50	1,70	0,00	0,01	0,33	1,7	1,71	4,07
T2	SOMO-3-11-N°1	5,85	2,15	1,29	3,44	1,51	0,00	0,38	0,02	2,06	1,45	0,07	0,01	-0,57	1,58	1,60	5,26
	SOMO-3-11-N°2	5,94	2,06	1,23	3,29	1,69	0,00	0,34	0,02	2,03	1,48	0,03	0,01	-0,53	1,53	1,55	5,31
	SOMO-3-11-N°3	5,81	2,19	1,23	3,42	1,72	0,00	0,35	0,03	1,95	1,63	0,04	0,01	-0,49	1,7	1,72	5,28
	SOMO-3-11-N°4	5,63	2,37	0,96	3,33	1,82	0,00	0,36	0,03	2,27	1,74	0,03	0,02	-0,56	1,81	1,82	5,44
	SOMO-3-11-N°5	6,25	1,75	1,34	3,09	1,20	0,00	0,26	0,03	2,31	1,44	0,08	0,02	-0,14	1,61	1,62	5,14
	SOMO-3-11-N°6	5,94	2,06	1,03	3,09	1,55	0,00	0,46	0,01	2,16	1,54	0,05	0,04	-0,37	1,69	1,68	5,21
	SOMO-3-11-N°7	5,92	2,08	1,08	3,16	1,62	0,00	0									

(Continuación)

Tramo	Muestra-Analisis	Si	Al tetra	Al octa	Al (total)	Mg	Ni2+	Ti4+	Mn2+	Fe2+	K	Ca	Na	Q Octa	Q Lamina	Q Interlaminar	Cationes Octa
T2	SOMO-4-2-Nº1	5,54	2,46	1,24	3,70	1,64	0,00	0,41	0,02	2,00	1,70	0,04	0,02	-0,68	1,78	1,80	5,31
	SOMO-4-2-Nº2	5,50	2,50	1,19	3,69	1,62	0,00	0,39	0,03	2,16	1,68	0,04	0,00	-0,75	1,75	1,76	5,39
	SOMO-4-2-Nº3	6,02	1,98	1,23	3,21	1,28	0,00	0,30	0,01	2,30	1,90	0,00	0,02	-0,07	1,91	1,92	5,12
	SOMO-4-2-Nº4	5,78	2,22	1,14	3,36	1,18	0,00	0,35	0,03	2,54	1,85	0,03	0,02	-0,32	1,9	1,93	5,24
	SOMO-4-2-Nº5	7,05	0,95	3,01	3,96	0,55	0,00	0,08	0,01	0,41	1,51	0,04	0,06	0,71	1,66	1,65	4,06
	SOMO-4-2-Nº6	6,14	1,86	1,10	2,96	1,44	0,00	0,34	0,04	2,28	1,58	0,05	0,03	-0,18	1,68	1,71	5,20
	SOMO-4-2-Nº7	6,13	1,87	1,61	3,48	0,66	0,00	0,20	0,08	2,63	1,42	0,04	0,02	-0,37	1,5	1,52	5,18
	SOMO-4-2-Nº8	6,34	1,66	0,78	2,44	1,50	0,00	0,33	0,02	2,64	1,47	0,08	0,03	0,02	1,68	1,66	5,27
	SOMO-4-2-Nº9	6,00	2,00	1,39	3,39	0,99	0,00	0,31	0,02	2,41	1,57	0,05	0,03	-0,25	1,75	1,70	5,12
	SOMO-4-2-Nº10	5,98	2,02	0,96	2,98	1,45	0,00	0,38	0,03	2,44	1,71	0,04	0,01	-0,24	1,78	1,80	5,26
T2	SOMO-4-2-Nº11	6,03	1,97	0,91	2,88	1,63	0,00	0,35	0,02	2,41	1,58	0,05	0,01	-0,25	1,72	1,69	5,32
	SOMO-4-2-Nº12	6,61	1,39	2,25	3,64	0,30	0,00	0,05	0,00	1,95	1,75	0,04	0,05	0,55	1,94	1,88	4,55
T2	SOMO-N-3-Nº1	6,51	1,49	1,43	2,92	1,53	0,00	0,27	0,02	1,79	1,18	0,11	0,01	-0,05	1,44	1,41	5,04
	SOMO-N-3-Nº2	6,41	1,59	3,43	5,02	0,20	0,00	0,02	0,05	0,41	1,86	0,00	0,06	0,31	1,9	1,92	4,11
	SOMO-N-3-Nº3	6,00	2,00	0,78	2,78	1,58	0,00	0,34	0,03	2,66	1,66	0,05	0,02	-0,24	1,76	1,78	5,39
	SOMO-N-3-Nº4	6,05	1,95	0,64	2,59	1,55	0,00	0,35	0,05	2,83	1,70	0,03	0,01	-0,18	1,77	1,77	5,42
	SOMO-N-3-Nº5	6,44	1,56	1,42	2,98	1,51	0,00	0,33	0,02	1,77	1,20	0,10	0,01	-0,18	1,38	1,41	5,05
	SOMO-N-3-Nº6	7,15	0,85	3,16	4,01	0,38	0,00	0,08	0,03	0,30	1,60	0,00	0,04	0,78	1,63	1,64	3,95
	SOMO-N-3-Nº7	5,74	2,26	0,87	3,13	1,51	0,01	0,39	0,03	2,55	1,80	0,03	0,02	-0,37	1,89	1,88	5,36
	SOMO-N-3-Nº8	6,15	1,85	1,25	3,10	1,40	0,03	0,35	0,00	2,15	1,35	0,06	0,07	-0,31	1,54	1,54	5,18
	SOMO-N-3-Nº9	6,56	1,44	2,14	3,58	1,39	0,00	0,19	0,01	1,00	1,32	0,02	0,08	0,02	1,46	1,44	4,73
	SOMO-N-3-Nº10	6,10	1,90	1,15	3,05	1,57	0,00	0,37	0,02	2,11	1,49	0,03	0,02	-0,33	1,57	1,57	5,22
T3	SOMO-4-8-Nº1	6,01	1,99	1,20	3,19	1,50	0,01	0,28	0,03	2,35	1,46	0,01	0,03	-0,50	1,49	1,51	5,37
	SOMO-4-8-Nº2	6,19	1,81	1,41	3,22	1,52	0,00	0,33	0,01	1,88	1,35	0,04	0,01	-0,37	1,44	1,44	5,15
	SOMO-4-8-Nº3	6,17	1,83	3,55	5,38	0,22	0,00	0,04	0,00	0,28	1,85	0,00	0,16	0,19	2,02	2,01	4,09
	SOMO-4-8-Nº4	6,14	1,86	3,57	5,43	0,24	0,00	0,04	0,02	0,28	1,76	0,00	0,17	0,05	1,91	1,93	4,15
	SOMO-4-8-Nº5	6,10	1,90	0,87	2,77	1,33	0,00	0,41	0,03	2,63	1,51	0,06	0,03	-0,23	1,67	1,66	5,27
	SOMO-4-8-Nº6	6,01	1,99	0,90	2,89	1,29	0,00	0,40	0,03	2,73	1,42	0,07	0,03	-0,40	1,59	1,59	5,35
	SOMO-4-8-Nº7	5,82	2,18	1,13	3,31	1,55	0,01	0,42	0,02	2,20	1,47	0,05	0,01	-0,63	1,55	1,58	5,33
	SOMO-4-8-Nº8	5,96	2,04	1,21	3,25	1,54	0,00	0,40	0,03	2,00	1,58	0,04	0,02	-0,37	1,67	1,68	5,18
	SOMO-4-8-Nº9	5,89	2,11	0,97	3,08	1,47	0,00	0,40	0,04	2,56	1,33	0,06	0,01	-0,65	1,46	1,46	5,44
	SOMO-4-8-Nº10	5,89	2,11	0,97	3,08	1,47	0,00	0,40	0,04	2,56	1,33	0,06	0,01	-0,65	1,46	1,46	5,44
T3	SOMO-N-4.1-Nº1	6,18	1,82	3,55	5,37	0,25	0,00	0,02	0,00	0,31	1,91	0,00	0,04	0,15	1,97	1,95	4,13
	SOMO-N-4.1-Nº2	6,38	1,62	1,06	2,68	1,43	0,02	0,37	0,02	2,02	1,86	0,02	0,08	0,36	1,98	1,98	4,92
	SOMO-N-4.1-Nº3	5,97	2,03	0,82	2,85	1,57	0,01	0,31	0,05	2,56	1,86	0,02	0,04	-0,08	1,95	1,94	5,32
	SOMO-N-4.1-Nº4	5,77	2,23	0,96	3,19	2,01	0,00	0,33	0,05	2,12	1,60	0,02	0,02	-0,56	1,67	1,66	5,47
	SOMO-N-4.1-Nº5	6,84	1,16	2,61	3,77	0,31	0,00	0,04	0,03	1,53	1,12	0,04	0,23	0,27	1,43	1,43	4,52
	SOMO-N-4.1-Nº6	6,00	2,00	0,86	2,86	1,66	0,01	0,31	0,03	2,51	1,61	0,04	0,05	-0,24	1,76	1,74	5,38
	SOMO-N-4.1-Nº7	5,73	2,27	0,99	3,26	1,48	0,01	0,41	0,02	2,49	1,60	0,02	0,01	-0,61	1,66	1,65	5,40
	SOMO-N-4.1-Nº8	5,96	2,04	1,08	3,12	1,56	0,00	0,46	0,03	2,12	1,49	0,01	0,06	-0,50	1,54	1,57	5,25
	SOMO-N-4.1-Nº9	6,97	1,03	3,12	4,15	0,43	0,00	0,09	0,00	0,35	1,63	0,03	0,05	0,72	1,75	1,74	3,99
	SOMO-N-4.1-Nº10	5,70	2,30	0,56	2,86	1,85	0,00	0,44	0,03	2,70	1,66	0,00	0,04	-0,60	1,7	1,70	5,58
T3	SOMO-N-4.1-Nº11	5,64	2,36	0,62	2,98	1,72	0,00	0,43	0,04	2,74	1,73	0,01	0,02	-0,58	1,78	1,77	5,55
	SOMO-N-4.5-Nº1	7,11	0,89	3,33	4,22	0,21	0,00	0,06	0,03	0,35	1,37	0,05	0,02	0,59	1,48	1,49	3,98
	SOMO-N-4.5-Nº2	6,39	1,61	3,49	5,10	0,25	0,00	0,02	0,00	0,29	1,70	0,00	0,27	0,37	1,98	1,97	4,05
	SOMO-N-4.5-Nº3	6,15	1,85	0,92	2,77	1,27	0,00	0,19	0,06	3,18	1,14	0,03	0,09	-0,54	1,31	1,29	5,62
	SOMO-N-4.5-Nº4	5,98	2,02	0,68	2,70	1,60	0,01	0,37	0,01	2,86	1,46	0,01	0,05	-0,48	1,54	1,53	5,53
	SOMO-N-4.5-Nº5	5,76	2,24	0,77	3,01	1,46	0,00	0,40	0,00	2,91	1,50	0,02	0,02	-0,65	1,59	1,56	5,54
	SOMO-N-4.5-Nº6	5,88	2,12	1,09	3,21	1,42	0,00	0,29	0,01	2,65	1,48	0,01	0,02	-0,59	1,53	1,52	5,46
	SOMO-N-4.5-Nº7	5,38	2,62	0,67	3,29	1,71	0,00	0,49	0,00	2,68	1,76	0,00	0,09	-0,75	1,87	1,85	5,55
	SOMO-N-4.5-Nº8	6,02	1,98	0,78	2,76	1,53	0,01	0,38	0,02	2,56	1,86	0,00	0,00	-0,10	1,88	1,86	5,28
	SOMO-N-4.5-Nº9	5,86	2,14	0,81	2,95	1,71	0,00	0,37	0,00	2,44	1,80	0,01	0,09	-0,21	1,93	1,91	5,33
T4	SOMO-N-4.5-Nº10	5,97	2,03	0,92	2,95	1,31	0,00	0,38	0,00	2,66	1,62	0,02	0,15	-0,22	1,81	1,81	5,27
	SOMO-6-4-Nº1	6,02	1,98	0,82	2,80	1,66	0,00	0,31	0,04	2,46	1,87	0,03	0,01	-0,02	1,96	1,94	5,29
	SOMO-6-4-Nº2	6,23	1,77	0,84	2,61	1,78	0,00	0,26	0,02	2,41	1,65	0,02	0,11	0,02	1,79	1,80	5,31
	SOMO-6-4-Nº3	5,84	2,16	1,12	3,28	1,73	0,01	0,33	0,00	2,09	1,52	0,05	0,19	-0,34	1,82	1,81	5,28
	SOMO-6-4-Nº4	6,78	1,22	1,68	2,90	1,02	0,00	0,30	0,01	1,72	1,43	0,00	0,05	0,26	1,48	1,48	4,73
	SOMO-6-4-Nº5	5,87	2,13	1,15	3,28	1,54	0,00	0,44	0,02	2,11	1,50	0,00	0,05	-0,55	1,58	1,55	5,26
	SOMO-6-4-Nº6	6,14	1,86	1,11	2,97	1,58	0,01	0,27	0,00	2,31	1,60	0,03	0,00	-0,21	1,65	1,66	5,28
	SOMO-6-4-Nº7	6,44	1,56	0,99	2,55	1,38	0,00	0,33	0,00	2,45	1,49	0,01	0,09	0,05	1,61	1,60	5,15
	SOMO-6-4-Nº8	6,40	1,60	1,62	3,22	1,04	0,00	0,27	0,00	2,08	1,33	0,04	0,01	-0,18	1,42	1,42	5,01
	SOMO-6-4-Nº9	5,81	2,19	1,42	3,61	1,74	0,00	0,14	0,01	2,13	1,38	0,03	0,14	-0,58	1,61	1,58	5,44
T4	SOMO-6-4-Nº10	6,68	1,32	3,00	4,32	0,27	0,00	0,03	0,00	0,88	1,72	0,01	0,14	0,58	1,9	1,88	4,18
	SOMO-6-4-Nº11	6,57	1,43	3,05	4,48	0,23	0,00	0,04	0,01	0,83	1,83	0,03	0,09	0,55	1,98	1,98	4,16
	SOMO-6-4-Nº12	6,91	1,09	2,31	3,40	0,31	0,00	0,09	0,05	1,76	1,39	0,02	0,11	0,47	1,56	1,54	4,52
	SOMO-6-4-Nº13	5,60	2,40	1,46	3,86	0,62	0,01	0,28	0,04	2,80	1,77	0,07	0,04	-0,44	1,96	1,95	5,21

(Continuación)

Tramo	Muestra-Analisis	Si	Al tetra	Al octa	Al (total)	Mg	Ni2+	Ti4+	Mn2+	Fe2+	K	Ca	Na	Q Octa	Q Lamina	Q Interlaminar	Cationes Octa
T-1	SN-5-13-Nº1	5,26	2,74	0,61	3,35	1,62	0,00	0,36	0,00	3,14	1,81	0,02	0,09	-0,79	1,95	1,94	5,73
	SN-5-13-Nº2	5,37	2,63	0,92	3,55	1,29	0,00	0,27	0,01	3,12	1,88	0,00	0,07	-0,68	1,95	1,95	5,61
	SN-5-13-Nº3	6,15	1,85	3,65	5,50	0,16	0,00	0,03	0,03	0,20	1,82	0,00	0,16	0,15	2	1,98	4,07
	SN-5-13-Nº4	6,24	1,76	1,11	2,87	1,58	0,00	0,34	0,02	2,15	1,43	0,07	0,01	-0,19	1,57	1,58	5,20
	SN-5-13-Nº5	6,84	1,16	2,12	3,28	0,38	0,00	0,25	0,00	1,53	1,75	0,03	0,14	0,82	1,98	1,95	4,28
	SN-5-13-Nº6	6,58	1,42	2,19	3,61	1,15	0,00	0,12	0,00	1,16	1,66	0,00	0,12	0,33	1,75	1,78	4,62
	SN-5-13-Nº7	6,09	1,91	1,22	3,13	1,41	0,01	0,31	0,03	2,03	1,82	0,01	0,15	0,14	2,05	1,99	5,01
	SN-5-13-Nº8	6,99	1,01	2,15	3,16	0,41	0,00	0,19	0,04	1,45	1,88	0,04	0,02	0,99	2	1,98	4,24
	SN-5-13-Nº9	6,08	1,92	0,94	2,86	1,53	0,00	0,31	0,01	2,59	1,26	0,15	0,01	-0,32	1,6	1,57	5,38
	SN-5-13-Nº10	5,97	2,03	0,94	2,97	1,49	0,01	0,38	0,00	2,43	1,56	0,02	0,22	-0,20	1,83	1,82	5,25
	SN-5-13-Nº11	5,67	2,33	1,47	3,80	1,42	0,00	0,27	0,02	2,11	1,67	0,00	0,05	-0,59	1,74	1,72	5,29
	SN-5-13-Nº12	6,14	1,86	3,13	4,99	0,46	0,00	0,07	0,01	0,67	1,88	0,00	0,01	0,05	1,91	1,89	4,34
	SN-5-13-Nº13	6,11	1,89	3,17	5,06	0,51	0,00	0,09	0,00	0,66	1,50	0,02	0,12	-0,21	1,68	1,66	4,43
	SN-5-13-Nº14	5,72	2,28	1,23	3,51	1,69	0,02	0,33	0,04	1,87	1,92	0,00	0,05	-0,25	2,03	1,97	5,18
T-4	SN-5-9-Nº1	6,77	1,23	1,56	2,79	1,55	0,02	0,25	0,01	1,45	1,38	0,00	0,09	0,26	1,49	1,47	4,84
	SN-5-9-Nº2	5,26	2,74	0,78	3,52	1,62	0,00	0,19	0,00	3,21	1,90	0,00	0,05	-0,76	1,98	1,95	5,80
	SN-5-9-Nº3	5,38	2,62	1,15	3,77	1,84	0,00	0,17	0,00	2,50	1,76	0,00	0,04	-0,81	1,81	1,80	5,66
	SN-5-9-Nº4	6,26	1,74	1,74	3,48	1,44	0,00	0,27	0,00	1,34	1,56	0,04	0,22	0,14	1,88	1,86	4,79
	SN-5-9-Nº5	5,99	2,01	1,35	3,36	1,66	0,01	0,21	0,05	1,86	1,92	0,00	0,01	-0,05	1,96	1,93	5,14
	SN-5-9-Nº6	6,31	1,69	3,51	5,20	0,24	0,00	0,08	0,00	0,30	1,52	0,03	0,17	0,07	1,76	1,75	4,13
	SN-5-9-Nº7	5,81	2,19	1,41	3,60	1,64	0,00	0,19	0,07	1,94	1,78	0,00	0,12	-0,29	1,9	1,90	5,25
	SN-5-9-Nº8	5,66	2,34	0,94	3,28	1,98	0,01	0,26	0,02	2,22	1,90	0,04	0,01	-0,32	2,02	1,99	5,43
	SN-5-9-Nº9	6,30	1,70	1,93	3,63	1,09	0,00	0,15	0,01	1,58	1,72	0,01	0,18	0,25	1,95	1,92	4,76
	SN-5-9-Nº10	6,12	1,88	3,16	5,04	0,30	0,00	0,02	0,01	0,86	1,85	0,00	0,12	0,10	1,98	1,97	4,35
	SN-5-9-Nº11	5,99	2,01	1,56	3,57	1,32	0,00	0,19	0,01	2,01	1,84	0,03	0,00	-0,12	1,89	1,90	5,09
	SN-5-9-Nº12	5,71	2,29	1,11	3,40	1,48	0,00	0,26	0,03	2,46	1,94	0,00	0,04	-0,31	1,98	1,98	5,34
	SN-5-9-Nº13	6,72	1,28	1,56	2,84	1,33	0,00	0,11	0,00	1,86	0,94	0,15	0,01	0,50	1,78	1,25	4,86
	SN-5-9-Nº14	6,60	1,40	3,70	5,10	0,19	0,00	0,00	0,00	0,15	1,59	0,01	0,00	0,22	1,62	1,61	4,04

Datos de composición química de micas de muestras de Húmera obtenidas mediante M.E.

Tramo	Muestra-Analisis	Si	Al tetra	Al octa	Al (total)	Mg	Ni2+	Ti4+	Mn2+	Fe2+	K	Ca	Na	Q Octa	Q Lamina	Q Interlamina	Cationes Octa
H1	HN-1-1-Nº1	6,22	1,78	3,44	5,22	0,32	0,00	0,03	0,05	0,31	1,68	0,00	0,28	0,20	1,98	1,96	4,15
	HN-1-1-Nº2	6,02	1,98	1,10	3,08	1,51	0,00	0,27	0,08	2,26	1,77	0,00	0,12	-0,08	1,9	1,89	5,22
	HN-1-1-Nº3	6,15	1,85	0,88	2,73	1,58	0,01	0,23	0,08	2,52	1,84	0,01	0,05	0,06	1,91	1,91	5,30
	HN-1-1-Nº4	5,67	2,33	1,24	3,57	1,33	0,01	0,22	0,02	2,51	1,89	0,00	0,08	-0,34	1,99	1,97	5,33
	HN-1-1-Nº5	6,01	1,99	1,24	3,23	1,44	0,00	0,20	0,00	2,33	1,67	0,00	0,25	-0,06	1,93	1,92	5,21
	HN-1-1-Nº6	6,28	1,72	1,41	3,13	1,35	0,01	0,31	0,00	1,97	1,41	0,02	0,13	-0,13	1,59	1,58	5,05
	HN-1-1-Nº7	5,94	2,06	1,02	3,08	1,64	0,00	0,28	0,07	2,27	1,84	0,00	0,05	-0,14	1,92	1,89	5,28
	HN-1-1-Nº8	5,88	2,12	1,12	3,24	1,55	0,03	0,40	0,01	2,08	1,73	0,02	0,05	-0,30	1,82	1,82	5,19
	HN-1-1-Nº9	6,44	1,56	3,02	4,58	0,28	0,00	0,10	0,00	0,81	1,77	0,01	0,10	0,36	1,92	1,89	4,21
	HN-1-1-Nº10	6,18	1,82	1,11	2,93	1,26	0,00	0,31	0,07	2,33	1,89	0,00	0,01	0,11	1,93	1,90	5,08
	HN-1-1-Nº11	6,91	1,09	2,58	3,67	0,33	0,01	0,05	0,01	1,34	1,58	0,00	0,18	0,68	1,77	1,76	4,32
H2	HN-2-1-Nº1	6,32	1,68	3,51	5,19	0,21	0,00	0,02	0,02	0,37	1,80	0,01	0,04	0,19	1,87	1,86	4,13
	HN-2-1-Nº2	5,64	2,36	1,00	3,36	1,56	0,01	0,33	0,06	2,38	1,91	0,00	0,09	-0,34	2,02	2,00	5,34
	HN-2-1-Nº3	5,49	2,51	1,15	3,66	1,74	0,03	0,31	0,09	2,03	1,88	0,00	0,12	-0,47	2,04	2,00	5,35
	HN-2-1-Nº4	6,05	1,95	1,13	3,08	1,72	0,00	0,27	0,02	2,11	1,52	0,01	0,23	-0,17	1,78	1,77	5,25
	HN-2-1-Nº5	5,55	2,45	1,32	3,77	1,54	0,01	0,30	0,03	2,19	1,63	0,05	0,00	-0,70	1,75	1,73	5,39
	HN-2-1-Nº6	6,28	1,72	2,00	3,72	0,78	0,01	0,12	0,00	2,04	1,49	0,00	0,08	-0,14	1,58	1,57	4,95
	HN-2-1-Nº7	5,77	2,23	0,95	3,18	1,64	0,04	0,29	0,01	2,45	1,85	0,01	0,05	-0,29	1,94	1,92	5,38
	HN-2-1-Nº8	6,01	1,99	1,05	3,04	1,58	0,00	0,41	0,03	2,19	1,50	0,00	0,07	-0,39	1,6	1,57	5,26
	HN-2-1-Nº9	6,05	1,95	0,92	2,87	1,60	0,01	0,37	0,00	2,27	1,78	0,04	0,08	0,00	1,95	1,94	5,17
	HN-2-1-Nº10	7,10	0,90	2,89	3,79	0,65	0,00	0,08	0,00	0,37	1,71	0,00	0,14	0,97	1,87	1,85	3,99
	HN-4-Nº1	6,68	1,32	1,62	2,94	1,20	0,00	0,15	0,00	1,81	1,56	0,01	0,23	0,52	1,84	1,81	4,78
H4	HN-4-Nº2	6,02	1,98	0,96	2,94	1,43	0,01	0,33	0,06	2,43	1,85	0,00	0,06	-0,06	1,92	1,91	5,22
	HN-4-Nº3	6,49	1,51	1,44	2,95	1,27	0,00	0,24	0,08	1,90	1,61	0,02	0,08	0,22	1,73	1,73	4,93
	HN-4-Nº4	6,55	1,45	1,80	3,25	1,12	0,01	0,37	0,03	1,24	1,61	0,07	0,00	0,32	1,77	1,75	4,57
	HN-4-Nº5	5,71	2,29	1,01	3,30	1,84	0,01	0,33	0,03	2,09	1,89	0,00	0,09	-0,29	2	1,98	5,31
	HN-4-Nº6	6,12	1,88	1,77	3,65	0,90	0,04	0,16	0,02	2,21	1,50	0,00	0,09	-0,29	1,59	1,59	5,10
	HN-4-Nº7	6,58	1,42	1,48	2,90	1,32	0,00	0,05	0,00	2,12	1,58	0,07	0,16	0,48	1,9	1,88	4,97
	HN-4-Nº8	6,18	1,82	1,00	2,82	1,57	0,00	0,24	0,00	2,40	1,51	0,08	0,21	0,10	1,92	1,88	5,21

Anexo IV

Leyes Orgánicas (y sus correspondientes Reales Decretos y Decretos de la Comunidad Autónoma de Madrid) que han modificado desde 1970 el Sistema Educativo Español, con especial atención al tratamiento dado a la Geología y sus ciencias afines.

Aprobación	Ley Orgánica	BOE	Estructura General	Curso	Materia	Carácter	Aspectos relacionados con la Geología
4 de agosto de 1970	Ley General de Educación (LGE)	B.O.E.187 del 6 de agosto	EGB (8 cursos) BUP (3 cursos) COU (1 curso)	1º-8º EGB (repartidos según dificultad creciente)	Ciencias Naturales	Obligatorio/ Troncal	El origen y la evolución de la vida, historia de la Tierra, estructura y cambio de la materia, recursos naturales y el ambiente, la Tierra y sus cambios, magnetismo terrestre y funcionamiento de las brújulas, el planeta Tierra en el Sistema Solar, movimientos de la Tierra, contaminantes del suelo, el agua y el aire, formación de diferentes tipos de rocas en relación con la dinámica terrestre, etc.
				1º BUP	Ciencias Naturales	Obligatorio/ Troncal	Estructura y composición de la Tierra, materia mineral (prop. y estruct.), procesos externos e internos (rocas y mines sedi, meta y magma), geología aplicada, historia de la vida (Paleontología), evolución (origen del hombre).
				3º BUP	Ciencias Naturales	Obligatorio en opción de Ciencias	Minerales y su dinámica en la corteza terrestres, métodos de estudio de la corteza profunda (geofísica, sísmica), tectónica, geomorfología y paisaje, dinámica cortical.
				COU	Geología	Optativa de modalidad (Biosanitaria y Científico-Tecnológica)	Sistema Solar y los tipos de estrellas y planetas, Geología histórica, geología regional (Autonomía), tectónica, límites de las placas litosféricas, sistemas morfoclimáticos, petrogénesis, tipos de rocas y sus ambientes generadores, ciclo de las rocas, leyes fundamentales de la geología, clasificaciones y propiedades minerales, cristalografía básica, la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera, los suelos, origen del magmatismo (tipos de volcanes), resolución de cortes geológicos, estratigrafía, fosilización y fósiles guía, etc.

Aprobación	Ley Orgánica	BOE	Estructura General	Curso	Materia	Carácter	Aspectos relacionados con la Geología
3 de octubre de 1990	Ley Orgánica de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE)	B.O.E.238 del 4 de octubre	E.P.O. (6 cursos) E.S.O. (4 cursos) Bachillerato (2 cursos)	1º a 6º de Primaria	Conocimiento del medio natural, social y cultural	Obligatoria	El aire y los fenómenos atmosféricos, las rocas y el suelo, el movimiento del Sol, la Luna y la Tierra, los materiales del entorno y sus usos, la energía y sus transformaciones.
				1º ESO	Ciencias de la Naturaleza	Obligatoria	La Tierra en el Universo (el Sistema Solar, movimiento de la Tierra y fenómenos asociados, componentes del universo), materiales terrestres (estructura, funciones y fenómenos de la atmósfera, composición y propiedades del aire y del agua, las rocas y los minerales, el suelo).
				2º ESO	Ciencias de la Naturaleza	Obligatoria	Transito de energía en la Tierra (la dinámica interna de la Tierra, la evolución del relieve y los agentes externos).
				3º ESO	Ciencias de la Naturaleza (Biología y Geología)	Obligatoria	Rocas y Minerales. El ciclo de las rocas.
				4º ESO	Biología y Geología	Optativa	La dinámica de la Tierra (alteraciones en la disposición inicial de las rocas, las placas litosféricas, la Tierra cambiante y los fósiles como indicadores, la evolución).
				1º Bachillerato	Biología y Geología	Optativa de modalidad	Origen y evolución de la Tierra, métodos de estudio del interior terrestre, estructura interna de la Tierra, movimientos y tipos de límites de placas litosféricas, tectónica de placas, el relieve, Hipótesis sobre el origen de la vida, teorías evolutivas, ambientes petrogenéticos, cristalogénesis, magmatismo y yacimientos asociados, metamorfismo y yacimientos asociados, sedimentación, rocas sedimentarias, meteorización, formación de suelos.
				1º Bachillerato	Ciencia, Tecnología y Sociedad	Optativa	El papel de la técnica en el proceso de hominización, la investigación científica, influencia de la ciencia en la vida cotidiana.
				2º Bachillerato	Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente	Optativa de modalidad	Cambios climáticos y ambientales en la historia de la Tierra, origen de la energía interna de la Tierra, procesos petrogenéticos, recursos minerales y energéticos, la atmósfera y su función protectora, la hidrosfera y su función reguladora, ciclo de agua, riesgos naturales, contaminación ambiental, edafogénesis, desertización, evaluación del impacto ambiental.
				2º Bachillerato	Geología	Optativa de modalidad (si el centro lo oferta)	Origen y flujo de energía y calor en la Tierra, gravedad y magnetismo terrestre, estructura interna de la Tierra, materiales terrestres, ciclo de las rocas, magmatismo, metamorfismo, meteorización, edafogénesis, análisis geomorfológico, estratigrafía, facies sedimentarias, datación, geología histórica, geología regional de España.

Aprobación	Ley Orgánica	BOE	Estructura General	Curso	Materia	Carácter	Aspectos relacionados con la Geología
23 de diciembre de 2002 (no aplicado)	Ley Orgánica de Calidad de la Educación (LOCE)	B.O.E.307 del 24 de diciembre	E.P.O. (6 cursos) E.S.O. (4 cursos) Bachillerato (2 cursos)	1º a 6º de Primaria	Ciencias, Geografía e Historia	Obligatoria	En 1º ciclo (aguas superficiales y subterráneas, la superficie terrestre, el suelo, composición y características de la atmósfera, conservación del medio ambiente, importancia de la ciencia y la investigación en la mejora de la calidad de vida, grandes investigadores, inventores y científicos), 2º ciclo (tipos de materiales naturales y artificiales, las rocas y minerales, características de la Tierra, el Sistema Solar, las Galaxias, la representación de la tierra mediante mapas, la atmósfera y su dinámica, climas y paisajes), 3º ciclo (las capas de la Tierra: atmósfera, hidrosfera, corteza, manto y núcleo). dinámica interna y externa de la Tierra, las catástrofes naturales, el magnetismo terrestre y los imanes, desarrollo sostenible, energías renovables y no renovables).
				1º ESO	Ciencias de la Naturaleza	Obligatoria	La Tierra en el Universo (Vía Láctea, Sistema Solar, planetas, estrellas, galaxias, la Luna, movimientos de la Tierra, estructura del interior de la Tierra,...), los materiales terrestres (características de la atmósfera, la hidrosfera y la corteza terrestre), la Tierra y los seres vivos (factores que favorecen la habitabilidad de la Tierra, la biodiversidad, clasificación de los seres vivos actuales y pasados,...).
				2º ESO	Ciencias de la Naturaleza	Obligatoria	La Tierra como sistema material en continuo cambio, el tránsito de la energía en la Tierra, origen y tipos de agentes geológicos externos (viento, ríos, aguas salvajes, los glaciares, aguas subterráneas,...), la energía interna de la Tierra (terremotos, volcanes, rocas endógenas, movimientos de los continentes, el calor interno, etc.).
				3º ESO	Biología y Geología	Obligatoria /común	La materia mineral (cristalografía), propiedades y clasificaciones minerales, aplicaciones económicas de los minerales, clasificaciones genéticas de las rocas, el ciclo de las rocas, aplicaciones de interés industrial de las rocas.
				4º ESO	Biología y Geología	Optativa de Itinerario	El modelado del relieve terrestre, sistemas morfoclimáticos, tectónica de placas y las pruebas que justifican esta teoría, fenómenos geológicos asociados al movimiento de las placas tectónicas, historia geológica de la Tierra, origen y evolución de la vida, los fósiles como indicadores, el ciclo de la materia.
				1º Bachillerato	Biología y Geología	Optativa de modalidad de Ciencias y tecnología	Métodos de investigación del planeta Tierra, estructura interna de la Tierra (físicoquímica terrestre, calor interno, movimiento de placas litosféricas,...), Cristalización y ambientes petrogenéticos (nucleación y crecimiento cristalino,...), procesos petrogenéticos (yacimientos minerales, tipos de magmas y relación con tectónica, metamorfismo, rocas sedimentarias, meteorización, los suelos, etc.).
				2º Bachillerato	Ciencias de la Tierra y Medioambientales	Optativa de modalidad de Ciencias y tecnología	El medio ambiente como interacción de sistemas, cambios ambientales en la historia de la Tierra, recursos y riesgos naturales, residuos e impactos ambientales, el interior terrestre, la atmósfera y su contaminación, la hidrosfera y su contaminación, procesos edafológicos y su importancia, etc.

Aprobación	Ley Orgánica	BOE	Estructura General	Curso	Materia	Carácter	Aspectos relacionados con la Geología
3 de Mayo de 2006	Ley Orgánica de Educación (LOE)	B.O.E.106 del 4 de mayo	E.P.O. (6 cursos) E.S.O. (4 cursos) Bachillerato (2 cursos)	1º a 6º de Primaria	Conocimiento del medio natural, social y cultural	Obligatoria	1 ciclo (diferencias entre ser vivo y objeto inerte, la energía, ahorro energético y protección del medio ambiente, la regla de las 3R), 2º ciclo (En el Bloque de Geografía: el planeta Tierra, movimientos del planeta, el ciclo del agua, tiempo atmosférico, análisis de datos relativos a temperatura y precipitaciones, los minerales y las rocas, planos y mapas; En el bloque de Ciencias: tipos de materiales naturales), 3º ciclo (En Bloque de Geografía: el Universo, el Sistema Solar, las capas de la Tierra, distribución del agua en la Tierra, tipos y localización de las catástrofes naturales, rocas y minerales, el clima y el tiempo atmosférico; En el bloque de Ciencias: sin relación directa con Geología).
				1º ESO	Ciencias de la Naturaleza	Obligatoria	La Tierra y el universo, movimientos de la Tierra y fenómenos astronómicos, composición, propiedades y fenómenos de la atmósfera, el clima y el ciclo del agua, diversidad y utilidad de rocas y minerales, claves dicotómicas de identificación mineral, los fósiles y la historia de la vida.
				2º ESO	Ciencias de la Naturaleza	Obligatoria	Fuentes y transferencia de la energía, transformaciones geológicas debidas a la energía de la Tierra, riesgos volcánico y sísmico, geomorfología.
				3º ESO	Ciencias de la Naturaleza (Biología y Geología)	Obligatoria	Estructura interna de la materia, los cristales, transformaciones geológicas debidas a la energía externa, lectura de mapas topográficos, el relieve, la meteorización, agentes geológicos externos, las rocas, el gas, el carbón y el petróleo.
				4º ESO	Biología y Geología	Optativa	Origen e historia de la Tierra, el tiempo geológico, los fósiles, columnas estratigráficas y reconstrucciones de la historia geológica, la tectónica de placas y sus manifestaciones, el ciclo de las rocas, la dinámica del interior terrestre, hipótesis sobre el origen de la vida y su evolución en la Tierra, fósiles característicos, aparición y extinción de las especies, gradualismo y equilibrio puntuado, ciclos biogeoquímicos.
				1º Bachillerato	Ciencias para el Mundo Contemporáneo	Común	Orígenes del Universo, la Tierra y la vida en la Tierra, evolución de las teorías, los homínidos fósiles, riesgos y recursos naturales.
				1º Bachillerato	Biología y Geología	Modalidad	Origen y estructura de la Tierra, los minerales y las rocas, estudio experimental de la cristalización, uso geológicos de los sistemas de información geográfica, trabajo de campo y de laboratorio, tectónica de placas, límites de placas, conducción y convección del calor interno, ciclo de Wilson, magmatismo y metamorfismo, ambientes y procesos sedimentarios, meteorización, procesos geológicos externos, mapas topográficos y geológicos, cortes geológicos, riesgos geológicos, el tiempo geológico, los grandes cambios de la historia de la Tierra.
				2º Bachillerato	Ciencias de la Tierra y Medioambientales	Modalidad	Teledetección y fotos aéreas, la atmósfera, el cambio climático, la hidrosfera, la geosfera, origen de la energía interna de la Tierra, riesgos volcánico y sísmico, geodinámica externa, yacimientos minerales, recursos energéticos, ciclos biogeoquímicos, el suelo como interfase, el sistema litoral.

Aprobación	Ley Orgánica	BOE	Estructura General	Curso	Materia	Carácter	Aspectos relacionados con la Geología
9 de diciembre de 2013 (inicio de implantación)	Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad de la Educación (LOMCE)	B.O.E.295 del 10 de diciembre	E.P.O. (6 cursos-iniciados) E.S.O. (4 cursos-en Proyecto) Bachillerato (2 cursos-en Proyecto)	1º a 6º de Primaria	Ciencias de la Naturaleza	Troncal	La importancia de la fotosíntesis en el desarrollo de la vida en la Tierra, tránsito de la energía, tipos de energías, el magnetismo terrestre.
				1º a 6º de Primaria	Ciencias Sociales	Troncal	El universo, el Sistema Solar, movimientos de la Tierra, cartografía, planos, mapas y escalas, fenómenos atmosféricos, factores climáticos, el ciclo del agua, la litosfera, rocas y minerales, la relación entre el relieve, la hidrografía y el clima, cambio climático y desarrollo sostenible.
				1º y 3º de ESO	Biología y Geología	Troncal	1º (La experimentación en Geología, modelos sobre el origen del Universo, Sistema Solar, la Tierra, estructura y composición de la Geosfera, los minerales y las rocas, características e importancia de la atmósfera, la hidrosfera), 3º (características que permitieron el origen y la evolución de la vida en la Tierra, modelado del relieve, energía interna, actividad sísmica y volcánica, el suelo como ecosistema. Proyecto de Investigación grupal).
				1º, 2º o 3º de ESO	Geografía e Historia	Troncal	La Tierra en el Sistema Solar, la evolución de las especies y la hominización.
				4º ESO	Biología y Geología	Troncal de modalidad	Hipótesis sobre el origen y la evolución de los seres vivos, el proceso de hominización, historia y origen de la Tierra, el tiempo geológico, el actualismo, modelos geodinámico y geoquímico de la estructura de la Tierra, tectónica de placas y sus manifestaciones, ciclos biogeoquímicos, recursos naturales. Proyecto de investigación.
				4º ESO	Ciencias aplicadas a la actividad profesional	Troncal de modalidad	Técnicas de experimentación en geología, contaminación de suelos, importancia de I+D+i, Proyecto de Investigación.
				4º ESO	Cultura científica	Específica	Diferenciar entre las explicaciones científicas del Universo, la Tierra, el origen de la Vida y la evolución, de opiniones o creencias; teoría del Big-Bang; el estudio del Universo.
				1º Bachillerato	Biología y Geología	Troncal de modalidad	Factores geológicos y biológicos que influyen en la distribución de seres vivos, métodos de estudio de la Tierra, estructura interior de la Tierra, dinámica litosférica, rocas y minerales, magmatismo, metamorfismo y procesos sedimentarios relacionados con la Tectónica de Placas, deformación de las rocas, estratigrafía, tabla del Tiempo Geológico, las orogenias, extinciones y otros hechos importantes de la historia de la Tierra, cortes geológicos.
				1º Bachillerato	Cultura científica	Específica	Teoría de la deriva continental, tectónica de placas y fenómenos asociados, teorías del origen de la vida, utilidad del estudio de la propagación de las ondas sísmicas.
				2º Bachillerato	Geografía	Troncal de modalidad	Evolución geológica del territorio español y las diferentes morfoestructuras, litología peninsular e insular, cortes topográficos.
				2º Bachillerato	Geología	Troncal de modalidad	Principios fundamentales de la Geología, Tectónica de placas como teoría global, la geología en la vida cotidiana, estructura cristalina, composición química y propiedades de los minerales, Clasificación, descripción, procesos genéticos y transformaciones de las rocas y minerales, estructuras geológicas y deformación, relaciones de la tectónica de placas con el clima, el relieve, el volcanismo y la sismicidad, y la historia de la Tierra, acción geológica del agua, el viento, el hielo, la gravedad; los relieves estructurales, el registro estratigráfico, paleoclimatología, métodos de datación, origen y evolución de la vida en la Tierra, los riesgos naturales, recursos minerales y energéticos, historia geológica de España lectura e interpretación de mapas, reconocer y clasificar fósiles, el tiempo geológico,...
				2º Bachillerato	CTMA	Específica de modalidad	Las capas fluidas en relación con el clima, riesgos geológicos, recursos minerales y energéticos, el relieve entre la dinámica interna y externa, los suelos en relación con la litología y el clima.

